



# TREBALL FINAL DE GRAU



ESCOLA  
POLITÈCNICA SUPERIOR  
UNIVERSITAT DE LLEIDA  
INSPIRING THE FUTURE

Estudiant: Néstor Sisó Fernández

Titulació: Grau en Enginyeria Mecànica

Títol de Treball Final de Grau: Ús de l'energia solar fotovoltaica en el sector agrícola

Director: Marc Medrano Martorell

Presentació

Mes: Octubre

Any: 2020

## Contenido

Listado de figuras.....	5
Listados de tablas .....	6
Resumen .....	8
1.-Introducción .....	9
1.1.-Energía renovable .....	9
1.1.1.-Identificación.....	9
1.1.2.-Energía renovable .....	9
1.1.3.- Tipos .....	10
1.2.-Energía renovable en España .....	10
1.3.-Energía fotovoltaica en España .....	12
2.-Energía fotovoltaica en el sector agrícola .....	14
2.1.-Agrofotovoltaica.....	14
2.2.1.-Ventajas.....	16
2.2.2.-Desventajas .....	16
2.2.-Solar flotante.....	17
2.2.1.-Ventajas.....	17
2.2.2.-Desventajas .....	18
2.3.-Otras aplicaciones .....	18
3.-Situaciones de análisis.....	19
3.1.-Caso 1: Bombeo Solar .....	19
3.1.1.-Situación de partida .....	19
3.1.2.-Condicionantes.....	20
3.1.3.-Descripción de la instalación.....	20
3.2.-Caso 2: Riego por goteo con energía solar.....	21
3.2.1.-Situación de partida .....	21
3.2.2.- Condicionantes.....	22
3.2.3.-Descripción de la instalación .....	22
4.-Metodología de cálculo Caso 1: Bombeo Solar.....	23
4.1.-Estrategia seguida .....	23
4.2.-Análisis de necesidades hídricas .....	24
4.2.1.- Necesidades netas.....	24

4.2.2.-Necesidades totales .....	24
4.3.-Análisis solar.....	24
4.3.1.- Radiación .....	24
4.3.2.- Declinación solar .....	25
4.3.3.- Elevación solar.....	25
4.3.4.-Inclinación óptima .....	25
4.3.5.- Radiación global sobre superficie en inclinación óptima .....	25
4.3.6.- Inclinación optima por consumo.....	26
4.3.6.- Factor de irradiación .....	26
4.3.7.- Horas de Sol Pico (HSP) .....	26
4.4.-Balsa de abastecimiento .....	26
4.4.1.- Capacidad .....	27
4.4.2.- Dimensionado diques.....	27
4.4.3.- Otros aspectos.....	31
4.5.- Instalación hidráulica .....	32
4.5.1.- Conducción de agua .....	32
4.5.2.- Equipo de bombeo .....	34
4.5.3.- Golpe de Ariete .....	36
4.6.-Dimensionado de la instalación solar .....	38
4.6.1.-Paneles .....	38
4.6.2.-Inversor .....	42
4.6.3.- Conductores y protecciones.....	43
5.-Resultados Caso 1: Bombeo Solar.....	45
5.1.- Resultados obtenidos .....	45
5.1.1.-Demanda de agua .....	45
5.1.2.-Punto de funcionamiento óptimo .....	47
5.1.3.-Diseño instalación hidráulica .....	49
5.1.4.-Análisis solar .....	53
5.1.5.-Diseño de instalación fotovoltaica .....	55
5.2.- Elementos principales instalación .....	58
6.-Metodología de cálculo Caso 2: Riego por goteo con energía solar.....	59
6.1.-Diseño y estrategia seguida.....	59
6.2.- Análisis de necesidades hídricas plantas.....	60

6.2.1.- Necesidades netas.....	60
6.2.2.- Necesidades totales de riego .....	61
6.2.2.1.- Consideraciones a la eficiencia de aplicación .....	62
6.2.2.2.- Consideraciones de lavado de sales.....	62
6.2.3.- Necesidades totales unitarias .....	62
6.3.-Dimensionado riego goteo.....	63
6.3.1.- Disposición de goteros .....	63
6.3.2.- Distancia entre goteros .....	63
6.3.2.- Número de goteros .....	64
6.3.3.- Duración del riego .....	64
6.3.4.- Caudal total necesario.....	64
6.3.5.- Número de sectores de riego.....	65
6.4.-Dimensionado ramales.....	65
6.4.1.- Diámetro tubería .....	65
6.4.2.- Pérdidas de carga .....	65
6.5.- Dimensionado cabezal de riego .....	66
6.5.1.- Equipo de filtrado.....	66
6.5.2.- Equipo de bombeo .....	66
6.6.-Análisis de necesidades solares.....	66
6.7.-Dimensionado de la instalación solar .....	66
6.7.1.- Solar directa para riego a goteo .....	66
6.7.2.- Instalación solar autónoma .....	66
7.-Resultados Caso 2: Riego por goteo con energía solar .....	72
7.1.- Resultados obtenidos.....	72
7.1.1.- Riego a goteo con solar directa.....	72
7.1.2.- Solar autónoma almacén.....	77
7.2.- Elementos principales instalación .....	80
7.2.1.- Riego por goteo con solar directa .....	80
7.2.2.- Instalación solar autónoma .....	80
8.-Presupuesto.....	81
8.1.- Caso 1: Bombeo Solar.....	81
8.2.-Caso 2: Riego por goteo con energía solar.....	81
8.2.1.- Riego por goteo con solar directa .....	81

8.2.2.- Instalación solar autónoma .....	82
9.-Resumen final de resultados .....	83
9.1.- Caso 1: Bombeo Solar.....	83
9.2.- Caso 2: Riego por goteo con energía solar .....	84
9.2.1.- Riego solar directo.....	84
9.2.2.- Instalación autoconsumo solar almacén .....	85
10.-Interpretación de resultados.....	86
10.1.- Valoración Caso 1: Bombeo solar.....	86
10.1.- Valoración Caso 2: Riego por goteo con energía solar.....	86
11.-Conclusiones.....	88
11.1.- Caso 1: Bombeo Solar.....	88
11.2.- Caso 2: Riego por goteo con energía solar .....	88
13.-Anexos .....	89
13.1.- Anexo 1: Planos .....	89
13.2.- Anexo 2: Fichas técnicas.....	89
12.-Referencias .....	90
12.1.- Referencias bibliográficas.....	90
12.2.- Referencias electrónicas .....	90
12.3.- Plataformas electrónicas.....	91
12.3.- Referencias figuras .....	91

## Listado de figuras

---

Figura 1.- Esquema gráfico de los porcentajes de las fuentes de producción de energía en España en el 2050 según un estudio de la Universidad de Stanford. (Fuente [1]).....	11
Figura 2.- Complejo fotovoltaico más grande de Europa situado en la comunidad de Aragón (España). (Fuente [2]) .....	12
Figura 3.- Uso sostenible de la energía solar en los cultivos. (Fuente [3]) .....	15
Figura 4.- Proyecto de 'Agrofotovoltaica' llevado a cabo por Fraunhofer ISE. (Fuente [4]).....	16
Figura 5.- Esquema de la primera solar flotante en España situada en Extremadura, llevada a cabo por Acciona. (Fuente [5]).....	17
Figura 6.- Esquema práctico de bombeo solar con bomba sumergible. (Fuente [6]) .....	18
Figura 7.- Esquema de interacción de condicionantes.....	21
Figura 8.- Esquema de estrategia seguida en la resolución del problema.....	23
Figura 9.- Mapa de la Península Ibérica e islas españolas identificativo del suelo. (Fuente [7]) .....	28
Figura 10.- Mapa de peligrosidad sísmica territorio español. (Fuente [8]) .....	29
Figura 11.- Sección tipo, del dique de cierre homogéneo con elemento de impermeabilización exterior. (Fuente [9]) .....	29
Figura 12.- Situaciones de cálculo analizadas en el diseño de diques. (Fuente [10]).....	31
Figura 13.- Ábaco de soluciones posibles de inclinación de taludes interior y exterior para zonas con coeficiente sísmico $\alpha \leq 0,04$ . (Fuente [11]).....	31
Figura 14.- Separación mínima paneles. ....	39
Figura 15.- Porcentaje teórico de cultivos arbóreos presentes en las 115,36 ha. ....	45
Figura 16.- Necesidades netas medias mensuales entre 2015-2019 de los cultivos analizados. ....	46
Figura 17.- Necesidades netas medias diarias entre 2015-2019 de los cultivos analizados. ....	46
Figura 18.- Necesidades totales de riego medias diarias entre 2015-2019 de los cultivos analizados.....	47
Figura 19.- Relación entre el coste total de la instalación y el caudal de funcionamiento.....	49
Figura 20.- Curvas características de las bombas y punto de funcionamiento de la instalación.....	52
Figura 21.- Radiación global horizontal entre 2012-2016. ....	53
Figura 22.- Comparativa de la radiación recibida frente a la demanda de agua. ....	55
Figura 23.- Esquema estrategia seguida para la resolución del riego a goteo con solar directa. ....	59
Figura 24.- Esquema estrategia seguida para la resolución de la instalación autónoma del almacén. ....	60
Figura 25.- Balance energético instalación fotovoltaica. ....	86
Figura 26.- Balance de agua instalación de riego solar directa. ....	87

## Listado de tablas

Tabla 1.- Propiedades de los tipos de suelo. ....	28
Tabla 2.- Factores de seguridad en el diseño de diques en balsas. ....	30
Tabla 3.- Valores considerados en las pérdidas de carga singulares. ....	34
Tabla 4.- Valores del coeficiente C de la fórmula de Mendiluce. ....	37
Tabla 5.- Valores del coeficiente K de la fórmula de Mendiluce. ....	37
Tabla 6.- Comparación de longitud de la conducción con la longitud crítica. ....	37
Tabla 7.- Necesidades totales medias. ....	47
Tabla 8.- Criterios establecidos para determinar el punto de funcionamiento óptimo. ....	48
Tabla 9.- Precios orientativos para establecer el punto de funcionamiento óptimo. ....	48
Tabla 10.- Descripción de los tramos de tuberías y elementos en la instalación hidráulica. ....	50
Tabla 11.- Puntos que definen las curvas características de la Bomba horizontal de IDEAL 6380B 150/200. ....	51
Tabla 12.- Puntos que definen las curvas características de la Bomba sumergible de IDEAL P0058786. ....	51
Tabla 13.- Puntos característicos que definen la curva característica del funcionamiento en Modo 1. ....	51
Tabla 14.- Puntos característicos que definen la curva característica del funcionamiento en Modo 2. ....	52
Tabla 15.- Radiación global horizontal media entre 2012-2016. ....	54
Tabla 16.- Determinación HSP. ....	54
Tabla 17.- Parámetros característicos del inversor trifásico 100 kW INGECON Sun 3Play 100 TL. ....	55
Tabla 18.- Parámetros característicos de la Placa Trina Solar 340 W 24 Tallmax TSM-PE15 H. ....	56
Tabla 19.- Comportamiento del módulo fotovoltaico en situaciones extremas de invierno y verano. ....	56
Tabla 20.- Combinación resultante de módulos en cada subinstalación. ....	57
Tabla 21.- Parámetros de salida totales de cada subinstalación. ....	57
Tabla 22.- Resultado del cálculo de separación entre filas de paneles. ....	57
Tabla 23.- Determinación de la sección de los tramos del cableado. ....	58
Tabla 24.- Características estructura flotante. ....	58
Tabla 25.- Valores de eficiencia de aplicación (Ea) para riego localizado según textura predominante del suelo. ....	62
Tabla 26.- Diámetros mojados por el emisor clasificados según la textura del suelo para cultivos leñosos. ....	63
Tabla 27.- Valores del solape entre bulbos en cultivos leñosos (%) con goteros consecutivos con disposición de una línea de goteros por fila de plantas. ....	64
Tabla 28.- Valores medios de evapotranspiración del olivo entre 2015 y 2019. ....	72
Tabla 29.- Resultados de los cálculos de las necesidades hídricas del olivo en el campo estudiado, en situación de máxima demanda. ....	73
Tabla 30.- Resultados del dimensionado riego. ....	73
Tabla 31.- Distribución del riego a lo largo de los meses. ....	74
Tabla 32.- Análisis de presión necesaria del equipo de bombeo para satisfacer correctamente los puntos críticos de cada ramal. ....	74
Tabla 33.- Puntos que definen la curva característica de la bomba monobloc RFI-50-16/7,5. ....	75
Tabla 34.- Ficha técnica del variador de bombeo solar ESP-5,5kW-400-IP54_F50. ....	75
Tabla 35.- Ficha técnica del módulo fotovoltaico (72 células 6") A-335P GS. ....	76
Tabla 36.- Comportamiento del módulo fotovoltaico A-335P GS frente a las condiciones desfavorables. ...	76

Tabla 37.- Resultado de valores limitantes de salida de la instalación fotovoltaica. ....	76
Tabla 38.- Cargas y consumos previstos máximos, para la instalación autónoma del almacén. ....	77
Tabla 39.- Aplicación de los coeficientes de simultaneidad y relación entre energía entrante/consumida. .	77
Tabla 40.- Datos de radiación global horizontal en los años 2015 y 2016 en la ubicación de los paneles. ....	78
Tabla 41.- Resultados del análisis solar para la ubicación de los paneles, tanto de la instalación de riego solar directa como para la instalación solar autónoma. ....	78
Tabla 42.- Parámetros de diseño y parámetros de los componentes seleccionados de la instalación solar autónoma. ....	79
Tabla 43.- Resultados del cálculo de cableados en los diferentes tramos. ....	79
Tabla 44.- Resultados análisis demanda de agua y HSP. ....	83
Tabla 45.- Parámetros de trabajo de la instalación en el punto de funcionamiento más desfavorable. ....	83
Tabla 46.- Características del entorno.....	83
Tabla 47.- Situación frente a la cavitación.....	84
Tabla 48.- Características subinstalación fotovoltaica. ....	84
Tabla 49.- Resumen instalación solar flotante. ....	84
Tabla 50.- Comportamiento de la instalación de riego a goteo solar directa. ....	84



## Resumen

---

El trabajo pretende dar a conocer nuevas metodologías de aplicación de la energía fotovoltaica, e intenta plasmarlo a una situación real. Se fragmenta principalmente en el estudio de dos casos de utilización, de instalaciones solares fotovoltaicas para obtener electricidad en situaciones de demanda de energía, para llevar a cabo procesos agrícolas, principalmente la aportación de agua para el riego de los cultivos, a puntos que por geografía y entorno, no disponen de agua a presión o red eléctrica para su aporte por medios electromecánicos, generando así una alternativa al uso de grupos electrógenos.

## 1.-Introducción

---

Ante la inminente necesidad de cambiar la situación de nuestro planeta, la tecnología y la evolución hacia un mundo mejor, seguimos inmersos en una lucha que parece no convencer a todos para obtener energía limpia. Una energía presente hoy en día en todo lo que nos rodea, manifestada de distintas formas.

Si hacemos una evolución histórica, el ser humano siempre ha demandado energía, teniendo que recurrir a las fuentes energéticas que disponía en su entorno. Con la aparición del ser humano hasta finales del siglo XVIII, la fuente energética que satisfacía todas las necesidades era la madera, con aportes de energía eólica utilizada en los molinos de viento y en la propulsión de embarcaciones, y la energía hidráulica, procedente de zonas montañosas o saltos de agua.

Más adelante a principios del siglo XIX, con la aparición de la máquina de vapor, el carbón se sitúa como la principal fuente de energía hasta mediados del siglo XX. Los transportes más pesados como barcos, trenes y todo tipo de industria dependían de la energía obtenida a partir del poder calorífico del carbón.

No fue hasta finales del siglo XIX, con la irrupción de la electricidad y la invención del motor de explosión, y la llegada del petróleo el consumo energético empezó a crecer. A mediados del siglo XX el consumo del petróleo superó al uso del carbón, entrando en una nueva era en la cual todavía nos encontramos.

Entrados los años 50 se produce la introducción de la energía nuclear de fisión, con una aportación mundial mínima. En 1970 las gráficas del consumo energético mundial se disparan, siendo el petróleo su principal valedor.

A partir del año 2000 empieza la nueva tendencia por disminuir progresivamente el uso mayoritario de energías contaminantes por otras limpias.

### 1.1.-Energía renovable

#### 1.1.1.-Identificación

Las fuentes de energía se pueden clasificar según su forma de obtención en primarias o secundarias, y dependiendo de su capacidad de regeneración en renovables o no renovables.

Las principales fuentes de energía primarias son: el carbón, el petróleo, el gas, solar, eólica, biomasa y geotermia. Mientras que las secundarias son la electricidad, el combustible, y el calor.

Por otro lado la clasificación de las energías en renovables o no, las cuales se rigen por el ciclo Solar, por lo que perdurarán hasta el agotamiento del Sol, son la solar, eólica, biomasa, hidráulica, oleaje, y geotermia. Frente a las formadas a lo largo de la vida de la Tierra, combustibles fósiles y como consecuencia son limitadas, como son el carbón, el petróleo, el gas natural y la energía nuclear de fisión a partir de Uranio.

#### 1.1.2.-Energía renovable

Las fuentes de energía renovable son mayores que las convencionales, con la excepción de que no se encuentran completamente desarrolladas. Las exigencias medioambientales junto con el desarrollo

tecnològic està provocando un énfasis hacia estas nuevas energía, siempre mitigadas por la rápida amortización de la inversión.

Estos tipos de energía son consideradas inagotables, a la vez de limpias, su dispersión a lo largo de los territorios, dada su versatilidad y su abanico de opciones hace que no se focalice en un único punto sino que se distribuyen en varios territorios produciendo la energía cerca de los lugares de consumo, liberándose del coste del transporte.

### 1.1.3.- Tipos

En la actualidad, ya sea por su coste o mayor rendimiento las más extendidas son la solar y la eólica respectivamente. A todo ello cada tipo de energía tiene sus características que la hace ideal para determinadas ubicaciones, como también son energías que presentan sus desventajas. Dentro de las renovables más comunes podemos encontrar las siguientes.

**Energía eólica**, energía obtenida del viento, aquella que se obtiene a partir de la energía cinética generada por efecto de las corrientes de aire. Su implantación está en aumento debido al buen rendimiento que genera.

**Energía geotérmica**, aquella que se obtiene por aprovechamiento del calor interior de la Tierra. Su impacto ambiental es reducido, con un rendimiento acorde a la facilidad de extracción y de ubicación.

**Energía hidráulica**, es la obtenida a partir del aprovechamiento de la energía cinética y potencial de los ríos y saltos de agua. Actualmente debido a su gran infraestructura e impacto en los ecosistemas, se opta por minicentrales hidroeléctricas.

**Energía mareomotriz**, es la resultante de aprovechar las mareas, aprovechamiento del movimiento de las olas. Su rendimiento es relativamente bajo comparado con el coste económico y el impacto ambiental.

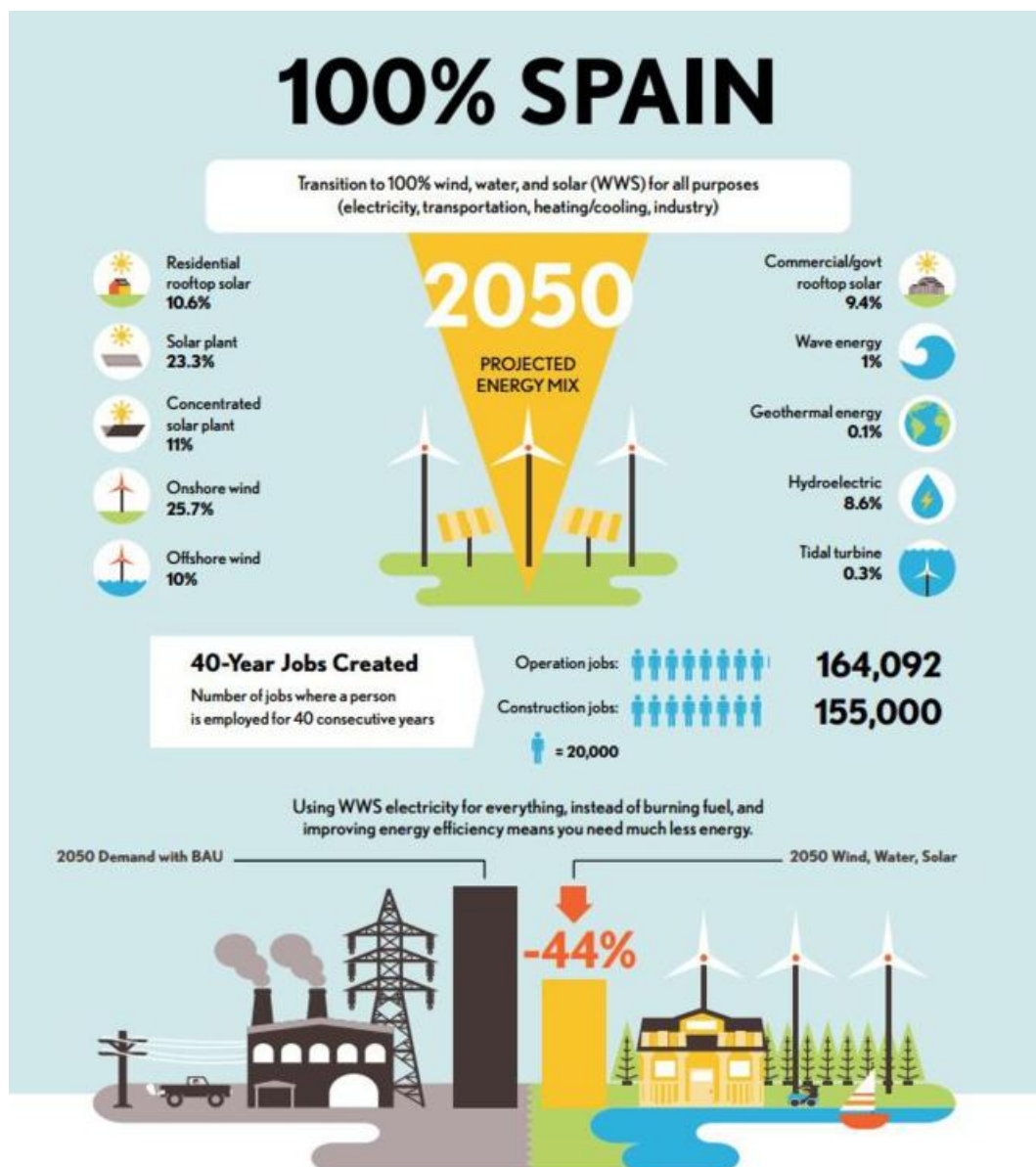
**Energía de la biomasa**, es la energía contenida en la materia orgánica y que tiene diversas formas de aprovechamiento.

**Energía solar**, es la energía obtenida por el aprovechamiento de la radiación que genera el sol incidente sobre la superficie terrestre. El problema principal es, disponer de sistemas eficientes de aprovechamiento, ya sea por aprovechamiento o captación.

## 1.2.-Energía renovable en España

España cerró el último año completo, 2019, con un 10 % más de potencia instalada de generación renovable, ocupando ya un 49,3 % de la energía total en España, que cuenta con 108000MW estimados de origen verde.

Pese a que todavía estamos lejos de lograr el 100 %, según un estudio, España y 138 países más podrían abastecerse únicamente de energías renovables procedentes del viento, el agua y el sol en 2050. Lo afirman en un estudio publicado en la revista '*Joule*', 27 científicos liderados por el estadounidense Mark Z. Jacobson de la Universidad de Stanford.



**Figura 1.-** Esquema gràfic de los porcentajes de las fuentes de producción de energía en España en el 2050 según un estudio de la Universidad de Stanford. (Fuente [1])

España, según los analistas podría ser cien por cien renovable en 2050. Año en el que la participación de las energías limpias para cubrir las necesidades energéticas del país conformaría el siguiente mix: el 54% procedería de la energía solar, el 36% de la eólica, el 8,5% se generaría a partir de plantas hidroeléctricas y utilizaríamos la energía undomotriz en un 1% y la mareomotriz 0,3%. Solo un 0,1%, según el informe, procedería de la energía geotérmica.

De manera que si se generaliza el uso de estas energías limpias y se desarrolla e implanta un plan de eficiencia energética en sectores estratégicos como la vivienda o el automóvil, España podría reducir en un 44% su demanda energética a mediados de este siglo.

A todo ello inmersos este 2020 en la lucha contra el Covid-19, España sigue con la idea de prosperar hacía un futuro mejor de la mano de las energías limpias, tal como redacta el pasado Viernes, 26 de junio de 2020, Antonio Barrero F.

*España debe instalar 100 MW de potencia renovable a la semana (todas y cada una de las semanas de los próximos 30 meses) si quiere cumplir con el objetivo que recoge el Real-Decreto ley (RDL) 23 que publicó ayer el Gobierno en el BOE. Según ese RDL (de medidas en materia de energía y en otros ámbitos para la reactivación económica), "en el periodo 2020-2022 el parque renovable deberá aumentar en aproximadamente 12.000 MW"*

*Real-Decreto ley (RDL) 23*

### 1.3.-Energía fotovoltaica en España

La energía fotovoltaica en España es un recurso muy abundante, puesto que contamos con condiciones idóneas para instalaciones fotovoltaicas debido a la disponibilidad de áreas de alta irradiación. La posición de España en cuanto a generación de electricidad de origen fotovoltaico es muy mejorable, de entrada se produjo un avance significativo hasta el 2008, pero a partir de ahí, con las modificaciones legislativas posteriores protegiendo los intereses de las grandes empresas del sector eléctrico español, el llamado 'impuesto del Sol', el auge se vio estancado y no ha sido hasta la eliminación de éste, el 5 de octubre de 2018, que se vuelve a apostar por ella y junto al abaratamiento de los costes, la vuelve a convertir en una opción atractiva.

Por otro lado y trabajando en la obligación de aumentar la energía renovable en España salta la noticia de que ACS conecta el mayor complejo fotovoltaico de Europa en Aragón de alrededor de 800 MW.



**Figura 2.-** Complejo fotovoltaico más grande de Europa situado en la comunidad de Aragón (España). (Fuente [2])

*“El mayor complejo fotovoltaico de Europa, el de Cobra (ACS) en Aragón ya es una realidad. La filial del grupo ACS construyó y conectó en tiempo y forma los 800 MW de este complejo de más de una decena de plantas fotovoltaicas en las localidades aragonesas de Escatrón, Chiprana y Samper de Calanda en una superficie de 3100 hectáreas” ( El periódico de la energía, 27/01/20).*

## 2.-Energía fotovoltaica en el sector agrícola

---

Siendo la agricultura en la década de 1960 el soporte principal de la economía Española, actualmente solo alberga el 6 % de la población activa, el avance tecnológico y las instalaciones de regadío han hecho que este sector sea más automatizado, y por consiguiente un incremento de demanda de energía.

Ante la posibilidad de ofrecer riegos a presión se requiere energía potencial para su efecto o energía eléctrica-mecánica, y no todas las zonas disponen de estas.

En primer lugar la dependencia de necesitar un punto de agua hace que la mayoría de terrenos agrícolas discurren próximos a los ríos, que por consiguiente son terrenos bajos principalmente valles, a lo que se suma que no disponen del paso de instalaciones de electricidad, por lo que la solución más frecuente es recurrir a grupos electrógenos diesel en su mayoría.

Después en terrenos apartados de los ríos, son los que requieren de grandes equipos de bombeo, en primer lugar para desplazar el agua a los diferentes puntos para su embalse, y después la consiguiente energía para realizar una correcta aportación de agua. Esto implica una gran demanda de energía, por lo que es necesario puntos de electricidad.

Ante estas necesidades, surge como solución el uso de la energía solar fotovoltaica, ya sea en pequeñas o grandes infraestructuras, en pequeñas infraestructuras no hay problema, pero en las grandes surge el problema del espacio requerido. Como solución surge la denominada 'Solar flotante'.

Por otro lado la demanda de energía renovable y los malos tiempos en la economía en el sector agrícola, ha dado lugar a la excesiva compra-venta de terrenos agrícolas para futuros campos solares, sin respetar el uso original del terreno, y desperdiciando los efectos producidos por los microclimas provocados por los cultivos.

Si analizamos el comportamiento de los paneles solares vemos que una baja irradiación afecta principalmente a la intensidad, mientras que una alta temperatura afecta notoriamente al rendimiento global del panel. A raíz de este problema y el interés en mantener el origen de uso de las tierras, surge la llamada 'Agrofotovoltaica', que está empezando a surgir efecto en España, mientras que en otros países ya se lleva trabajando en esta idea desde hace algunos años.

### 2.1.-Agrofotovoltaica

Todo arrancó hace unos años cuando se analizó la posibilidad de crear un ecosistema sostenible para abejas, escarabajos y mariposas donde los protagonistas eran las tierras de cultivo y la instalación de placas solares. Esta vertiente pretendía estudiar la correcta ubicación de los paneles solares y el tipo de distribución de las plantaciones en la misma área para conseguir un entorno en el que las abejas pudieran polinizar la zona y otros insectos fomentaran un ecosistema sostenible y beneficioso. Estos estudios encontraron que esta sinergia no solo beneficiaba la producción fotovoltaica sino que el rendimiento agrícola aumentaba considerablemente en todas las tierras circundantes.



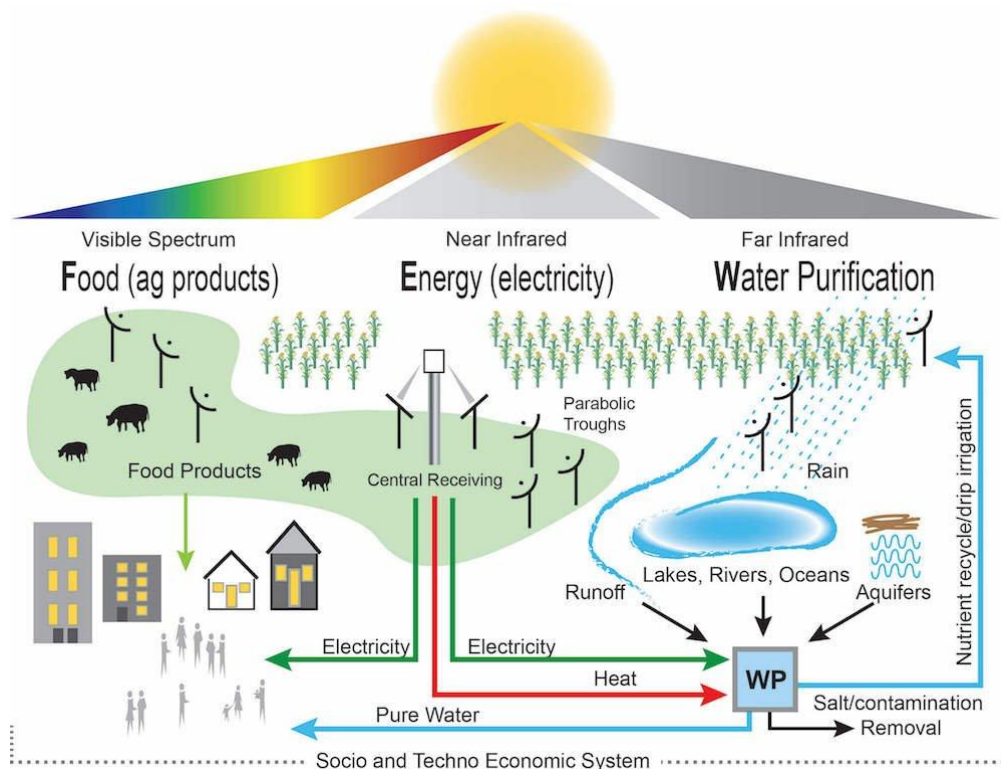


Figura 3.- Uso sostenible de la energía solar en los cultivos. (Fuente [3])

El instituto de investigación solar más grande de Europa, Fraunhofer ISE (Alemania), trabaja para combinar las potencias solares y las plantas de forma que actúen en simbiosis (interacción-mutua). La idea es combinar cultivos agrícolas con paneles solares mediante la instalación de paneles elevados sobre los cultivos para permitirles crecer y darles sombra, mientras que al mismo tiempo se recolecta la energía del sol.

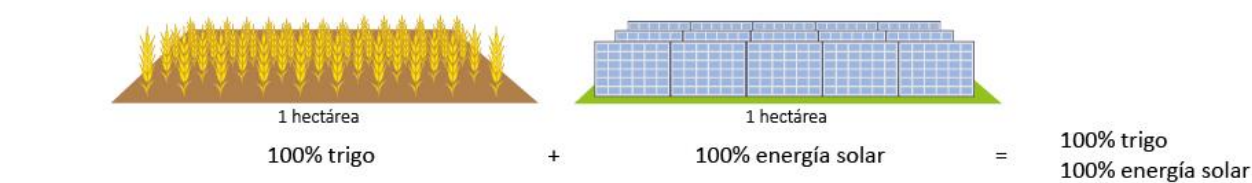
En 2016, se puso en marcha la Fase 1 del proyecto en el estado alemán de Baden-Württemberg, el estudio constó en el análisis de dos áreas separadas, en las que en una de ellas se instaló un campo fotovoltaico de 194kW formado por paneles solares semitransparentes y en la otra área se cultivaron patatas, apio y tréboles. El proyecto duró 12 meses y contrastó los resultados con la prueba que se realizó posteriormente.

En la Fase 2 del proyecto se procedió a instalar el campo fotovoltaico y el cultivo en la misma área siendo esta área el sumatorio de las dos áreas que anteriormente estaban separadas. El cultivo ocupaba todo el espacio de tierra disponible de forma estratégica para permitir el paso de los tractores y otros equipos, y los paneles de cristal semitransparente estaban instalados sobre el cultivo respetando el paso de los tractores, e instalados lo suficientemente altos para permitir que los cultivos recibieran al menos el 60% de la luz solar para permitir su fotosíntesis.



#### FASE 1

Uso separado de la tierra de cultivo en dos hectáreas



#### FASE 2

Uso combinado de la tierra de cultivo en dos hectáreas: crece la eficiencia en un 60%

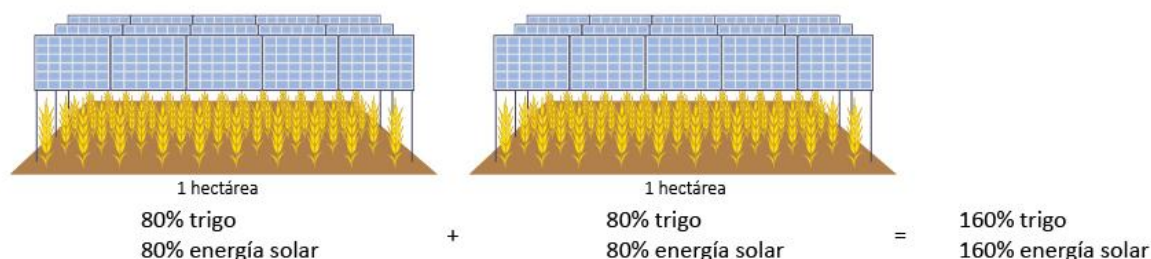


Figura 4.- Proyecto de 'Agrofotovoltaica' llevado a cabo por Fraunhofer ISE. (Fuente [4])

Durante el estudio se observó que si bien hubo menores rendimientos para algunos cultivos: una reducción del 5,3% por ciento en la hierba de trébol y una reducción del 18% al 19% en patatas, trigo y apio. El proyecto fue un éxito para la eficiencia del uso de la tierra en general, con una eficiencia que aumentó en más de un 60%.

#### 2.2.1.-Ventajas

- La mayoría de las plantas necesitan luz solar directa, para poder realizar la fotosíntesis, pero una vez captada la necesaria, el aporte extra de luz solar puede influir negativamente en su productividad.
- Se reduce la demanda de agua debido a que se produce menor evapotranspiración, causada por el sombreado, favoreciendo a la humedad del terreno.
- La sombra de los paneles aporta temperaturas más bajas por el día y consigue elevar la temperatura nocturna, así como un aumento de la humedad disponible en el aire.
- Los paneles solares mejoran su rendimiento cuando trabajan a temperaturas cercanas a 20-25°C. La transpiración de las plantas ayuda a mantener una temperatura más baja evitando el sobrecalentamiento de los paneles solares.
- Por último, supone una segunda vía económica.

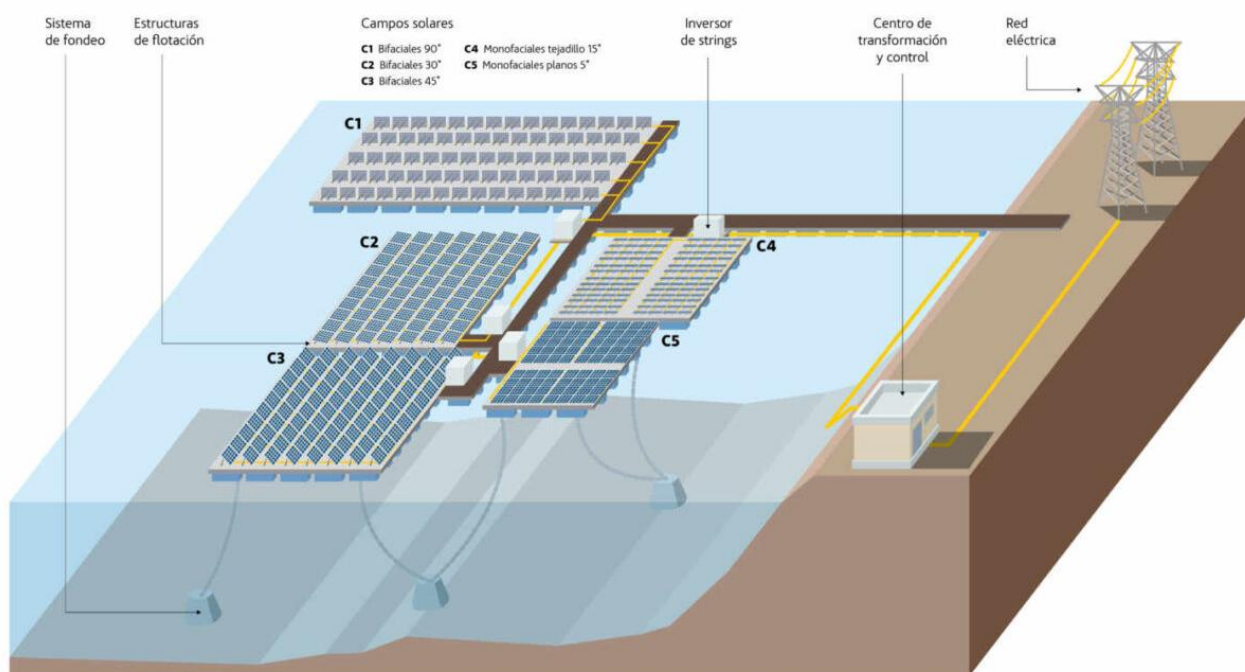
#### 2.2.2.-Desventajas

- Cada tipo de cultivo precisa de un tipo de instalación que le beneficie más o menos de luz solar directa, por lo que no hay un estandarte fijo.

-Requiere de una inversión inicial elevada. En España se requiere una excesiva tramitación para instalaciones conectadas a red.

## 2.2.-Solar flotante

Otro concepto similar a la 'Agrofotovoltaica' cuyo objetivo es preservar el uso original del suelo, consiste en la instalación de sistemas fotovoltaicos sobre balsas de riego. Las balsas hasta ahora únicamente tienen un fin que es la de acumulación de agua, eliminando superficie agrícola para este fin. La novedad de esta idea es la de ofrecer dos utilidades diferentes a la balsa, por un lado el almacenamiento de agua, y por otro el de generación de energía eléctrica.



**Figura 5.-** Esquema de la primera solar flotante en España situada en Extremadura, llevada a cabo por Acciona. (Fuente [5])

Este tipo de instalaciones tienen otras ventajas aparte del aprovechamiento de la superficie de la balsa, y es que evita en gran medida la evaporación del agua, reduciendo alrededor del 80% la evaporación del agua sobre la superficie ocupada, impidiendo que el Sol incida y aire circule directamente sobre el agua.

### 2.2.1.-Ventajas

- Ahorro de espacio para su plantación. No es necesario dedicar terreno apto para cultivo para la instalación fotovoltaica. Se utiliza un espacio sin aprovechamiento distinto a la acumulación de agua.
- Ahorro en el consumo de agua. Con este sistema se disminuye considerablemente la evaporación del agua, la instalación produce sombra en la lámina de agua disminuyendo su temperatura y limitando la

evaporación. Hay que tener en cuenta que la evaporación anual en esta zona puede llegar al 30% del volumen del embalse.

- Aumenta la calidad del agua. Otro efecto de la disminución de la temperatura del agua en la balsa es que la calidad del agua aumenta al disminuir la proliferación de algas.
- Aumento de la eficiencia de los paneles fotovoltaicos. El rendimiento de las placas aumenta por efecto de la refrigeración que se produce en la misma al estar sobre la lámina de agua.
- Seguridad de la instalación. Al encontrarse la instalación fotovoltaica en el interior de balsas, es menos propicia a que las placas y accesorios sean sustraídos.

### 2.2.2.-Desventajas

- Al ser un sistema que empieza su auge, existen pocas distribuidoras de estructuras flotantes para este fin, por lo que el coste está por encima del sistema fijo sobre suelo.
- Requiere de un nivel constante de agua para evitar continuos movimientos, que modifiquen su orientación.

### 2.3.-Otras aplicaciones

Las otras posibles aplicaciones, son las comunes de la fotovoltaica, autoconsumo de almacenes o casetas de riego en lugares donde no hay conexión de red eléctrica, como ocurre en la mayoría del terreno rural y el uso de bombes solares para llenado de depósitos o balsas a cierta altura para regar posteriormente por gravedad.

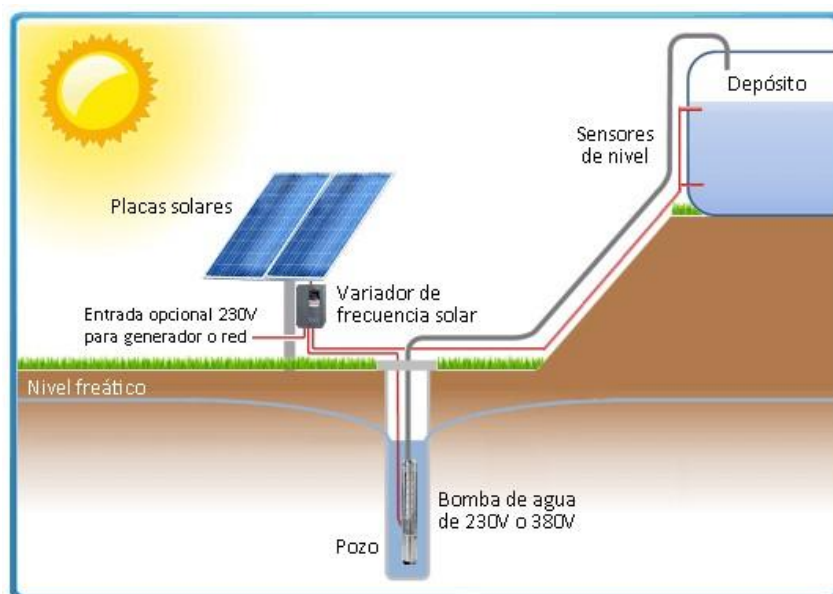


Figura 6.- Esquema práctico de bombeo solar con bomba sumergible. (Fuente [6])

### 3.-Situaciones de análisis

---

El lugar de estudio es 'La Serra de Montllobert', situada en el límite de tierras Aragonesas y Catalanas, concretamente entre las poblaciones de Fraga (Bajo Cinca) y Serós (El Segrià). Actualmente hay una balsa, que llamaremos 'Balsa 1' situada a cota +180,0 m.s.n.m., con abastecimiento constante por parte de una conducción presurizada proveniente del Canal de Catalunya y Aragón.

La Balsa 1 dispone de una capacidad aproximada de 75000 m<sup>3</sup>, dando servicio a una superficie bruta de 223,52 hectáreas garantizando una presión de trabajo correcta para instalaciones de riego en su mayor parte de superficie, quedando excluidas 67,90 hectáreas, zonas próximas a la balsa debido a la disposición del terreno, que a día de hoy deben utilizar grupos electrógenos-diesel en su mayoría para regar en condiciones.

Se pretende dimensionar una instalación que permita abastecer 47,46 nuevas hectáreas de las cuales 39,01 hectáreas recibirán agua en condiciones de presión óptimas, exceptuando 8,45 hectáreas situadas a mayor cota, donde se buscará una solución sostenible para no tener que utilizar un generador, dado que no se dispone de electricidad.

En total se pretende ofrecer una solución para abastecer con agua a 115,91 hectáreas de las cuales 109,91 la recibirán en condiciones óptimas de trabajo. **(Plano 03)**

#### 3.1.-Caso 1: Bombeo Solar

La solución que se propone es elevar el agua hasta arriba de la sierra y acumularla en una balsa que denominaremos, Balsa 2, siguiendo la misma metodología que se utiliza en la Balsa 1, abastecer utilizando la diferencia de altura, para ello se realizará un bombeo solar para llenar la Balsa 2 durante el día y que ésta de servicio las 24 horas del día. El dimensionado se realizará de forma que sea capaz de almacenar el agua necesaria para un día en las HSP<sup>1</sup> del mes de mayor demanda.

Como consecuencia, realizar dicha instalación nos permitirá abastecer terrenos de la sierra que hasta ahora estaban siendo trabajados únicamente con agua de las lluvias. Por otro lado nos permitirá eliminar el uso de generadores eléctricos de aquellas zonas próximas a la Balsa 1 que no disponían de presión suficiente para el correcto riego.

##### 3.1.1.-Situación de partida

En cuanto al agua partimos de una situación en la que disponemos del agua de la Balsa 1 que se abastece constantemente, por lo que no tenemos restricciones de agua.

Por lo que respecta la tipología del terreno nos permite encontrar una superficie lo suficientemente llana para la ubicación de la Balsa 2 a una cota de +246,0 m.s.n.m. con buena disposición para la instalación de la tubería de conducción de agua.

---

<sup>1</sup> HSP: La hora solar pico es una unidad que mide la irradiación solar y se define como la energía por unidad de superficie que se recibiría con una hipotética irradiación solar constante de 1000 W/m<sup>2</sup>.

### 3.1.2.-Condicionantes

Los puntos críticos de esta instalación conjunta en su desarrollo y principal uso son:

**Diferencia de cota:** El lado positivo de una gran diferencia de cota, es que garantiza una alta presión de trabajo las 24 horas del día, aunque por otro lado cabe recordar que es necesario primero ascender el agua a dicha cota, lo que implica una gran cantidad de energía.

**Horas solares:** La energía obtenida por los paneles fotovoltaicos, viene marcada por la cantidad de horas solares al día equivalente a la radiación solar diaria. En ese tiempo se debe satisfacer la demanda diaria. Una baja irradiación afecta directamente a una baja generación de intensidad por parte del módulo fotovoltaico en condiciones STC.

**Consumo cultivos:** La demanda de agua exigida por los cultivos depende de varios factores, entre ellos, la tipología del terreno, y las condiciones meteorológicas, haciendo que las demandas necesarias suelen variar a lo largo de los meses y días. Por otro lado la alta demanda de agua va ligada en parte a la gran radiación solar directa sobre las plantas, provocada por una mayor evapotranspiración.

**Temperatura:** Condicionante que no solo afecta a las plantas, generando más demanda de agua, sino que también afecta a las células fotovoltaicas provocando la disminución del voltaje proporcionado por el módulo fotovoltaico en condiciones STC.

**Coste de instalación:** Realizar una instalación de esta tipología requiere una fuerte inversión repentina, que será amortizada con el paso del tiempo.

**Espacio y entorno:** Otro factor a tener en cuenta el espacio necesario para llevarse a cabo y que éste sea favorable. Se necesita disponer de un campo solar, que no tenga problemas de sombreados y terrenos que dispongan de acceso a maquinaria pesada.

### 3.1.3.-Descripción de la instalación

El costo cero de la energía y la ampliación de nuevas zonas de regadío es un punto fuerte para realizar dicha instalación, pero a la vez cabe hacer un estudio previo con el fin de sacar el máximo rendimiento a la instalación, consiguiendo un equilibrio y una reducción del costo final de la instalación.

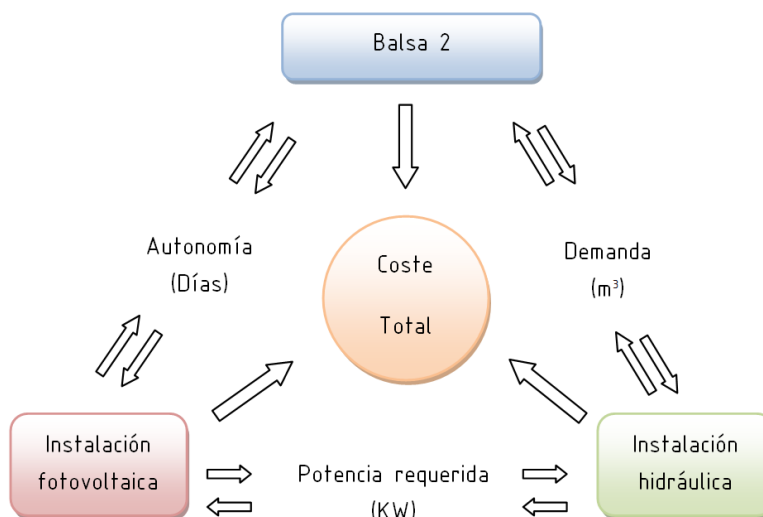


Figura 7.- Esquema de interacción de condicionantes.

La instalación global constará de tres partes principales:

**Balsa 2:** Punto de acumulación del agua en lo alto de la sierra. Balsa de tierra compactada con impermeabilización de PEAD.

**Instalación hidráulica:** Conjunto de elementos que permiten la conducción del agua desde la Balsa 1, hasta la Balsa 2, entre ellos se encuentran los elementos de conducción, accesorios y equipos de bombeo que transforman la energía eléctrica en mecánica-hidráulica.

**Instalación fotovoltaica:** Instalación encargada de aportar la energía eléctrica necesaria al sistema. Formada por paneles fotovoltaicos, soportes e inversores como elementos principales.

### 3.2.-Caso 2: Riego por goteo con energía solar

#### 3.2.1.-Situación de partida

Dentro de las nuevas 47,46 hectáreas que se pretende abastecer, existen 8,45 hectáreas que no dispondrán de agua a presión por lo que será necesario utilizar la energía procedente de una bomba para garantizar una presión de 2,5 bar a la red de tuberías para un riego eficiente. (**Sup.5 -Plano 03**)

El cultivo que se desea trabajar en estas tierras es el olivo, de forma intensiva, mediante riego por goteo. Se dispone de una dotación máxima de 438 m<sup>3</sup>/día, que se puede gestionar como mejor favorezca al diseño global de la instalación, no solo hidráulicamente, sino energéticamente. Para ello se opta por un riego a goteo mediante una instalación solar directa.

Por otro lado disponemos del almacén el cual se pretende dotar de una instalación fotovoltaica autónoma para tener luz en su interior, controlar el programador de riego, y dar electricidad a la bomba de abonado que precisará el cabezal de riego.

### 3.2.2.- Condicionantes

**Diseño agrícola.** La distribución del riego ha de trabajarse pensando que se va a regar todo de vez dado que el riego debe ser uniforme, garantizando las condiciones de trabajo en todos los puntos.

**Dotación de agua.** La dotación disponible es sobradamente mayor a la necesaria, por lo que no se tiene problemas de agua.

**Radiación.** El punto a favor de una instalación de riego directo es precisamente la radiación, debido a que en función de la radiación también exigen más o menos agua las plantas, por lo que existe una relación directa que nos asegura que el cultivo va a estar bien servido. El factor a tener en cuenta es la potencia pico, capaz de asegurar el tiempo de riego al caudal determinado para cumplir con la demanda diaria.

**Coste instalación.** Para el riego a goteo directo, el coste vendrá determinado por el número de paneles a instalar con tal de garantizar una potencia real a la entrada del inversor, que permita funcionar en las condiciones necesarias de presión y caudal durante el tiempo máximo de riego.

Por otro lado como toda instalación aislada, el factor que encarece la instalación es la cantidad de baterías necesarias, por ello debe hacerse un estudio previo de los consumos reales para no sobredimensionar la instalación.

**Entorno.** Da la casualidad que la orientación es óptima para garantizar una orientación hacia el Sur con una azimuth de 0°.

### 3.2.3.-Descripción de la instalación

De una mano tenemos la instalación solar directa para el riego, que se compondrá principalmente de la manguera de goteo escogida por diseño, después los ramales de PVC de distribuyen el agua según el diseño adoptado, el equipo de filtrado, y por último el equipo de bombeo a seleccionar con tal de cumplir los requisitos de presión y caudal. En dicho orden queda definida la estrategia de actuación.

A partir de este punto se conoce la potencia y el tiempo de riego por lo que el siguiente paso es dimensionar la instalación solar fotovoltaica, que consta de paneles y variador de frecuencia como elementos principales.

En cuanto a la instalación autónoma se refiere se buscará simplificar al máximo su coste, por lo que se opta por paneles directos a un inversor, que realiza las funciones de regulador y cargador de baterías.



## 4.-Metodología de cálculo Caso 1: Bombeo Solar

### 4.1.-Estrategia seguida

La estrategia seguida para la resolución de este 'problema', se descompone en diferentes partes:

**1-Análisis del entorno.** El primer punto y más relevante es ver si la ubicación es óptima para la realización de un bombeo solar, es decir, existen accesos, espacio y orientación que favorezca la implantación de esta instalación.

**2- Demanda de agua en la situación más desfavorable.** Dado que las necesidades de riego totales de cada parcela implican un estudio en profundidad, se opta por trabajar con las referencias de necesidades netas disponibles en páginas de dominio público y a partir de ahí establecer un balance con los posibles cultivos (no todos los cultivos consumen la misma agua y a la misma vez) que podemos encontrar en dichas parcelas con valores generalizados en los últimos años. El hecho de trabajar con superficie bruta nos genera ese margen de seguridad ante cualquier situación de posible mayor demanda de agua.

**3- Elaboración del prediseño y cálculo de la instalación.** Conocida la demanda máxima, se realiza un prediseño de la solución adoptada sin entrar en elementos puntuales, como son los elementos que generan pérdidas singulares para determinar el rango de caudales óptimos de funcionamiento, teniendo en cuenta el coste de la tubería a utilizar, el coste de la balsa de almacenamiento, coste del equipo de bombeo y el coste de la instalación solar.

**4-Se fija el rango de puntos de funcionamiento de la instalación para cumplir con la demanda.** Fijado el caudal a aportar se seleccionan distintas opciones de bombeo para después llevar a cabo la que resulte más eficiente.

**5-Diseño de la instalación con todos los detalles que afecten al cálculo final.** Cálculo y dimensionado de la Balsa 2, tramos de tuberías y elementos singulares, y selección de la solución más óptima para el equipo de bombeo acorde a la solución adoptada.

**6- Análisis solar.** Conocida la ubicación de la instalación solar se realiza el pertinente análisis solar para determinar las horas solares pico y la inclinación óptima por consumo.

**7- Elección del sistema fotovoltaico.** A partir de la energía necesaria y las horas solares pico, se dimensiona la instalación solar fotovoltaica que satisfaga la demanda energética y se seleccionan los componentes.

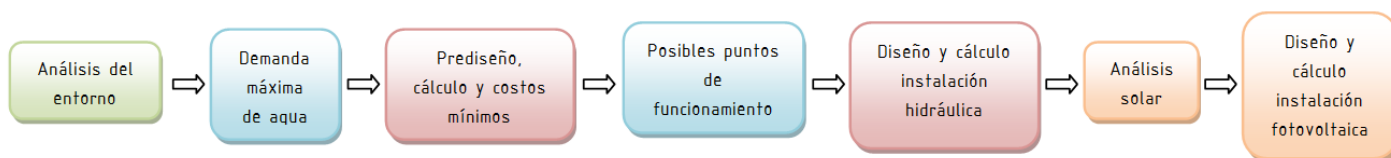


Figura 8.- Esquema de estrategia seguida en la resolución del problema.



## 4.2.-Análisis de necesidades hídricas

### 4.2.1.- Necesidades netas

La cantidad de agua que debe abastecer la instalación viene marcada por las necesidades de los cultivos a los que se pretende satisfacer. Estas necesidades vienen dictaminadas por la evapotranspiración provocada de las diferentes condiciones climatológicas que se pueden dar, como la radiación solar, la temperatura del aire, la velocidad del viento y la humedad atmosférica.

Existen diferentes aplicaciones según la región, que ofrecen un análisis acurado de las necesidades totales de riego de los cultivos para situaciones individualizadas en función de la tipología del suelo, precipitaciones, marco de plantación, disposición del riego, etc, como pueden ser:

- SARGA (<http://aplicaciones.aragon.es/oresa/>)
- RuralCat (<https://ruralcat.gencat.cat/>)

Por otro lado para obtener las necesidades netas de los cultivos de forma generalizada se dispone de la plataforma SIAR<sup>2</sup>, del Ministerio de Agricultura y Ganadería de Gobierno de España (<http://eportal.mapa.gob.es/websiar/NecesidadesHidricas.aspx>).

### 4.2.2.-Necesidades totales

A partir de la información extraída del SIAR se determinan las necesidades totales de riego, considerando valores estándar para la tipología de suelo, como es el limoso y sin problemas de salinidad.

$$(1) \quad N_t = \frac{N_n}{[E_a \cdot (1 - NL) \cdot 0,90]}$$

$N_t$  = Necesidades totales de riego (mm/día)

$N_n$  = Necesidades netas (mm/día)

$E_a$  = Coeficiente de terreno predominante      Limoso = 0,90

$NL$  = Necesidades de lavado      Sin problemas de salinidad  $NL = 0$

El valor máximo medio de necesidades totales de riego entre los diferentes cultivos, es el que determina las necesidades de demanda de agua a satisfacer.

Como comparación y contrastación de los resultados, los especialistas que trabajan en el sector suelen trabajar con valores referencia de entre 4-6 mm/día en el caso de riego a goteo y de 6-8 mm/día para riegos en aspersión.

## 4.3.-Análisis solar

### 4.3.1.- Radiación

La radiación solar incidente en un lugar determinado varía con el periodo estacional del año en que se encuentre el sol en cada instante, de modo que cuantas más horas de sol y más perpendicular sea la incidencia de los rayos solares mayor será la irradiación sobre la superficie en cuestión.

<sup>2</sup> SIAR: Sistema de Información Agroclimática para el Regadío.

Conocer la radiación recibida en el punto de estudio ofrece realizar un correcto dimensionado de la instalación solar fotovoltaica. La página ADRASE (<http://www.adrase.com/>) ofrece la radiación global horizontal de la península Ibérica, mientras que el portal Sistema de Información Geográfica Fotovoltaica PVGIS (<https://ec.europa.eu/jrc/en/pvgis>) permite conocer mayor información tanto de la península Ibérica como del resto del Mundo.

#### 4.3.2.- Declinación solar

La declinación solar es el ángulo formado por el Sol y el cenit, divisados por un observador situado en el Ecuador en el mediodía solar. Depende del día del año en que se considere.

$$(2) \quad \delta = 23,45^\circ \cdot \sin\left(360 \cdot \frac{284 + \delta_n}{365}\right)$$

$\delta$  = Declinación solar ( $^\circ$ )                       $\delta_n$  = Día del año de  $N = 1 \dots 365$

#### 4.3.3.- Elevación solar

Entre las dos trayectorias extremas que describe el Sol en los solsticios (21 de Junio y 21 de Diciembre) se encuentran el resto de trayectorias con valores medios en los equinoccios (21 de Marzo y 21 de Septiembre).

$$(3) \quad \text{Equinoccios } \alpha = 90^\circ - \varphi$$

$$\text{Otros días } \alpha = 90^\circ - \varphi \pm \delta$$

$\alpha$  = Elevación solar ( $^\circ$ )  
 $\delta$  = Declinación solar ( $^\circ$ )  
 $\varphi$  = Latitud del lugar ( $^\circ$ )

#### 4.3.4.-Inclinación óptima

Con la variación de la altura solar también varía la inclinación superficial permitiendo una mayor captación de radiación, siendo ésta la que genera un ángulo de  $90^\circ$  con la altura solar.

$$(4) \quad \beta_{\text{opt}} = 90^\circ - \alpha$$

$\alpha$  = Elevación solar ( $^\circ$ )                       $\beta_{\text{opt}}$  = Inclinación panel optima ( $^\circ$ )

#### 4.3.5.- Radiación global sobre superficie en inclinación óptima

Radiación global captada por una superficie en inclinación óptima a partir de la radiación horizontal global.

$$(5) \quad G_a(\beta_{\text{opt}}) = \frac{G_a(0^\circ)}{1 - 4,46 \cdot 10^{-4} \cdot \beta_{\text{opt}} - 1,19 \cdot 10^{-4} \cdot \beta_{\text{opt}}^2}$$

$G_a(\beta_{opt})$  = Radiación global sobre una superficie con inclinación óptima ( $\frac{kWh}{m^2}$ )

$G_a(0^\circ)$  = Radiación global sobre una superficie horizontal ( $\frac{kWh}{m^2}$ )

$\beta_{opt}$  = Inclinación panel óptima ( $^\circ$ )

#### 4.3.6.- Inclinación óptima por consumo

Dado que los consumos son mayores en determinadas épocas de año, se debe garantizar una mayor captación en periodos de mayor consumo.

$$(6) \quad \beta_{opt_{consumo}} = \sum \frac{\text{Consumo mensual}}{\text{Consumo anual}} \cdot \beta_{opt_i}$$

$\beta_{opt_i}$  = Inclinación óptima mensual ( $^\circ$ )

$\beta_{opt_{consumo}}$  = Inclinación óptima por consumo ( $^\circ$ )

#### 4.3.6.- Factor de irradiación

Factor de corrección del porcentaje de radiación incidente para un panel de orientación respecto al Sur e inclinación ( $\gamma, \beta$ ) respecto a la correspondiente para una orientación e inclinación óptimas ( $\gamma=0^\circ, \beta_{opt}$ ).

$$(7) \quad \text{Para } 15^\circ < \beta < 90^\circ \rightarrow FI = 1 - [1,2 \cdot 10^{-4} \cdot (\beta - \beta_{opt})^2 + 3,5 \cdot 10^{-5} \cdot \gamma^2]$$

$$\text{Para } \beta \leq 15^\circ \rightarrow FI = 1 - [1,2 \cdot 10^{-4} \cdot (\beta - \beta_{opt})^2]$$

FI = Factor de irradiación

$\beta_{opt}$  = Inclinación óptima panel ( $^\circ$ )

$\beta$  = Inclinación panel ( $^\circ$ )

$\gamma$  = Orientación respecto el Sur ( $^\circ$ )

#### 4.3.7.- Horas de Sol Pico (HSP)

Unidad de medición de irradiación solar que determina el número de horas en las que se recibirá una radiación constante de  $1000 \text{ W/m}^2$ .

$$(8) \quad HSP = FI \cdot G_a(\beta_{opt})$$

HSP = Horas de Sol Pico ( $\frac{kWh}{m^2}$ )

$G_a(\beta_{opt})$  = Radiación con inclinación óptima ( $\frac{kWh}{m^2}$ )

FI = Factor de irradiación

#### 4.4.-Balsa de abastecimiento

La Balsa 2 se situará en la zona parcelada en lo alto de la sierra a una cota de + 246,0 m, y se realizará con la tierra del entorno, dado que es favorable para ello, y supone un ahorro económico importante.

#### 4.4.1.- Capacidad

La capacidad de agua necesaria de almacenar viene determinada por un análisis previo de valoración de costes generales de toda la instalación, siendo la variable el caudal aportado en m<sup>3</sup>/h. Los otros factores a tener en cuenta es la demanda diaria máxima, así como las horas solares pico.

A todo ello por criterios de diseño y ante posibles averías se tendrá en cuenta un mínimo de días de autonomía y unas posibles pérdidas por evaporación estimadas en un 10 % del total.

$$(9) \quad \text{Volumen}_{\min} = 1,1 \cdot \text{Demanda}_{\text{máxima diaria}} \cdot \text{Días}_{\text{autonomía}}$$

#### 4.4.2.- Dimensionado diques

Para determinar las características estructurales de la balsa, se utilizan los Ábacos para el dimensionamiento de los taludes de las secciones tipo definidas en el 'Manual de diseño, construcción, explotación y mantenimiento de balsas', elaborado por el Laboratorio de Geotecnia, CEDEX, en colaboración con el Comité Técnico de Balsas (CNEGP).

Los ábacos presentan diferentes resultados de los cálculos de estabilidad, para cinco alturas diferentes, cuatro tipos de materiales y distintos coeficientes sísmicos característicos de la zona de España. Estos ábacos permiten dimensionar los taludes del dique de la balsa sin que sea necesaria la realización de ningún cálculo justificativo. A continuación se describe la identificación de los parámetros y las situaciones de cálculo que sigue este método.

##### 4.4.2.1.-Parámetros geotécnicos

Para la realización de la balsa se opta por utilizar la tierra disponible de la zona, dado que es bastante favorable para ello, siendo ésta arcillo-limosa tal como se muestra en la **Figura 9**.

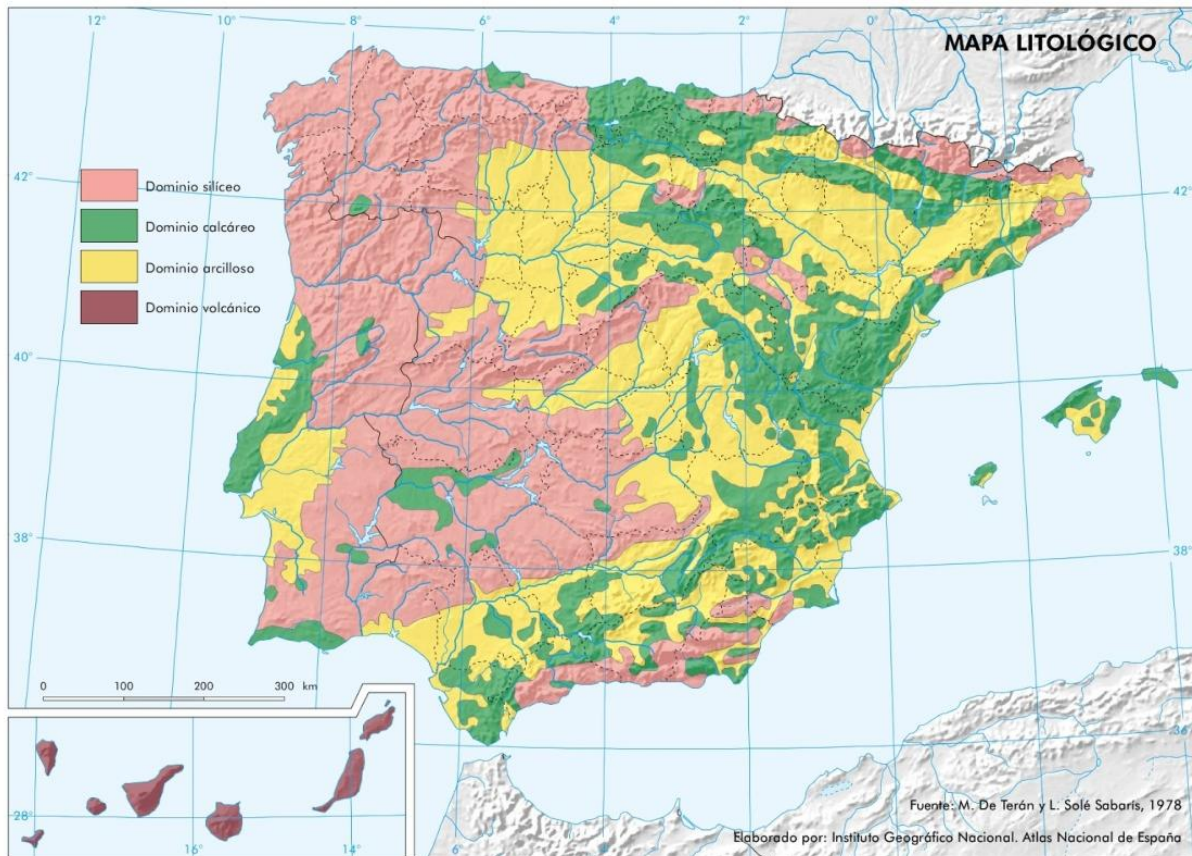


Figura 9.- Mapa de la Península Ibérica e islas españolas identificativo del suelo. (Fuente [7])

Los diferentes tipos de suelo que podemos encontrar se clasifican en la Tabla 1 con los valores de cohesión (C) y fricción interna ( $\Phi$ ), que se muestran.

Tabla 1.- Propiedades de los tipos de suelo.

Material	No saturado		Saturado	
	C(kPa)	$\Phi(^{\circ})$	C(kPa)	$\Phi(^{\circ})$
CH-MH	50	25	15	25
CL-ML	75	30	15	30
SC-SM y GC-GM	50	32,5	15	32,5
SW-GW	15	40	10	40

C: Grava S: Arena M: Limo C: Arcilla O: Orgánico W: Tamaños de partículas diversas  
H: Alta plasticidad L: Baja plasticidad

#### 4.4.2.2.- Sismicidad

El coeficiente de sismicidad permite conocer la fuerza sísmica, y así evaluar el posible comportamiento inercial provocado en la balsa en su máxima capacidad. La aceleración básica de todos los municipios de España con situaciones de sismo se recoge en el **Anejo 1 de la Norma de Construcción Sismorresistente (NCSE-02)**. Nuestro lugar de estudio, no aparece en la lista de lugares con frecuencia sísmica ([Mapa histórico de sismos en la Península Ibérica](#)), por lo que se considera un valor de aceleración sísmica  $a_b < 0,04g$ .

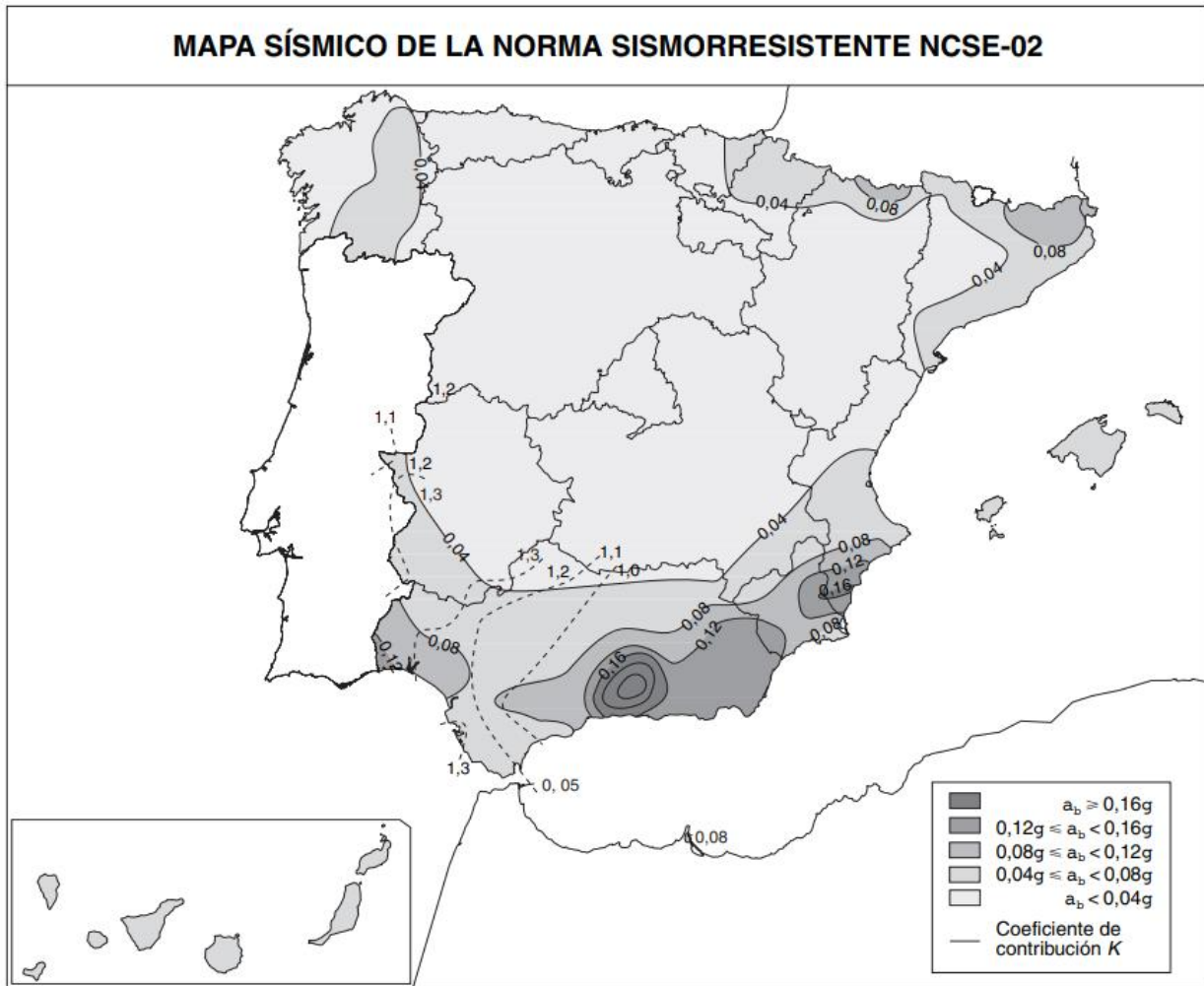


Figura 10.- Mapa de peligrosidad sísmica territorio español. (Fuente [8])

#### 4.4.2.3.- Geometría

La geometría perimetral del dique de la balsa se ajusta al de la **Figura 11**. Las inclinaciones de los taludes exteriores e interiores, para su elección, siguen las relaciones;  $H/V=1,5$ ;  $H/V=2$ ;  $H/V=2,5$ ;  $H/V=3$ ;  $H/V=3,5$ ;  $H/V=4$ . La anchura de coronación se ajusta a la expresión:  $C = \frac{H}{5} + 3$ , siendo H la altura máxima del talud.

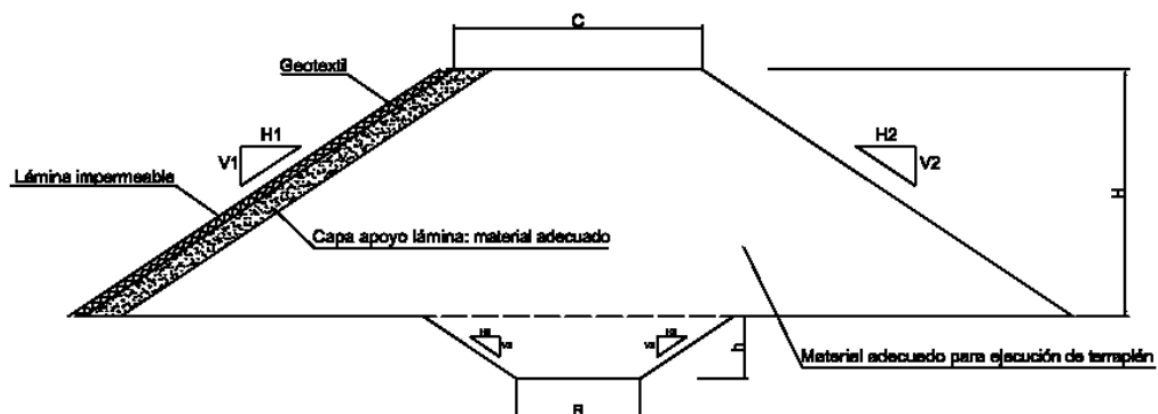


Figura 11.- Sección tipo, del dique de cierre homogéneo con elemento de impermeabilización exterior. (Fuente [9])



#### 4.4.2.4.- Situaciones de cálculo

El ábaco se define a partir de analizar las siguientes situaciones de cálculo, asegurando un correcto funcionamiento, teniendo en cuenta los siguientes factores de seguridad.

**Tabla 2.-** Factores de seguridad en el diseño de diques en balsas.

Situación de cálculo	Factores de seguridad
Fin de construcción	1,2
Embalse lleno	2,0
Rotura de lámina	1,5
Sismo a embalse lleno	1,3
Desembalse rápido	1,3

*“Final de construcción. Esta situación se analizará en los casos en los que el dique de cierre esté constituido mayoritariamente por materiales arcillosos de los tipos CH- MH y CL-ML, definidos anteriormente, en los que se puede suponer que no se ha producido disipación de la presión intersticial durante el proceso de construcción. Para la consideración de la presión intersticial se va a suponer la existencia de una línea piezométrica en forma parabólica que pase por los pies de ambos taludes y que, en el eje vertical del dique, llegue hasta media altura del mismo.”*

*“Situación normal de embalse lleno. Esta hipótesis supone que el agua de la balsa está a su cota máxima, correspondiente con la altura del resguardo. En el dique de cierre no existe línea piezométrica puesto que se considera que el elemento de impermeabilización impide la saturación del material del dique.”*

*“Rotura del elemento de impermeabilización exterior. Esta situación supone considerar que el agua de la balsa está a su cota máxima, correspondiente con la altura del resguardo, y que la rotura del elemento de impermeabilización exterior produce la saturación del dique de cierre. Esta saturación se ha modelizado mediante una línea piezométrica que arranca en el talud interior a la altura del resguardo, pasa a 2/3 de altura en la vertical del extremo exterior de la coronación y finaliza en el pie exterior del dique”*

*“Sismo en situación de embalse lleno. En aquellas zonas cuya aceleración básica ( $a_b$ ) sea igual o superior a 0,04 g, siendo g la aceleración de la gravedad, se debe tener en cuenta el efecto del terremoto en la estabilidad del dique de cierre. La aceleración básica de todos los municipios de España se recoge en el Anejo 1 de la Norma de Construcción Sismorresistente (NCSE-02). La incorporación del efecto del terremoto en los cálculos se ha realizado mediante el método pseudoestático, es decir, incorporando una fuerza horizontal igual al peso de la masa deslizante multiplicado por un coeficiente sísmico ( $\alpha$ ) que se obtiene como indica la NCSE-02. A grandes rasgos se puede justificar que este valor se corresponde con los efectos de un terremoto extremo. En esta hipótesis se ha considerado que el agua de la balsa está a su cota máxima y no existe línea piezométrica en el dique de cierre. Los valores de los coeficientes sísmicos horizontales que se han utilizado han sido: 0,04g; 0,08g y 0,12g. No se ha considerado aceleración vertical concomitante.”*

*“Desembalse rápido. Esta hipótesis se corresponde con la situación en la que se produce un vaciado de la balsa, debido a la rotura de la lámina, a una velocidad mayor que la necesaria para que se produzca el drenaje del cuerpo del dique, lo que implica la presencia de presiones intersticiales en el interior del cuerpo del dique. A efectos del cálculo, y del lado de la seguridad, se ha considerado que la línea piezométrica resultante se encuentra situada en la superficie del talud interior de la balsa, tal como se preconiza en Morgenstern (1963).”*

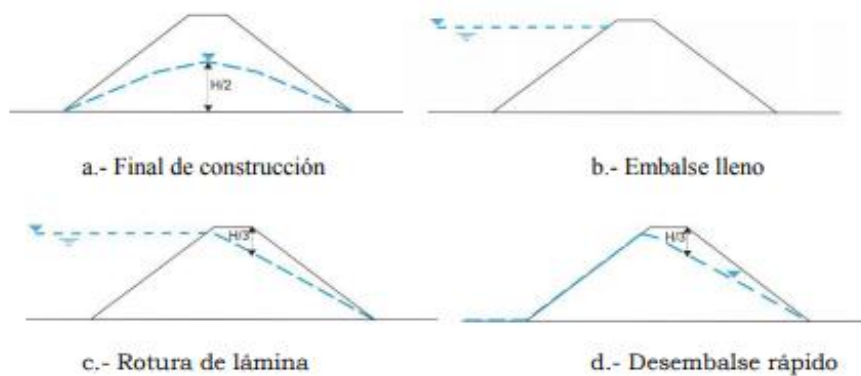


Figura 12.- Situaciones de cálculo analizadas en el diseño de diques. (Fuente [10])

#### 4.4.2.5.- Ábaco para $\alpha < 0,04$

Teniendo en cuenta la actividad sísmica de la zona, la altura del dique, y el tipo de material del cual estará hecho éste, se puede determinar la relación y altura que se ajuste a nuestro diseño con el siguiente ábaco.

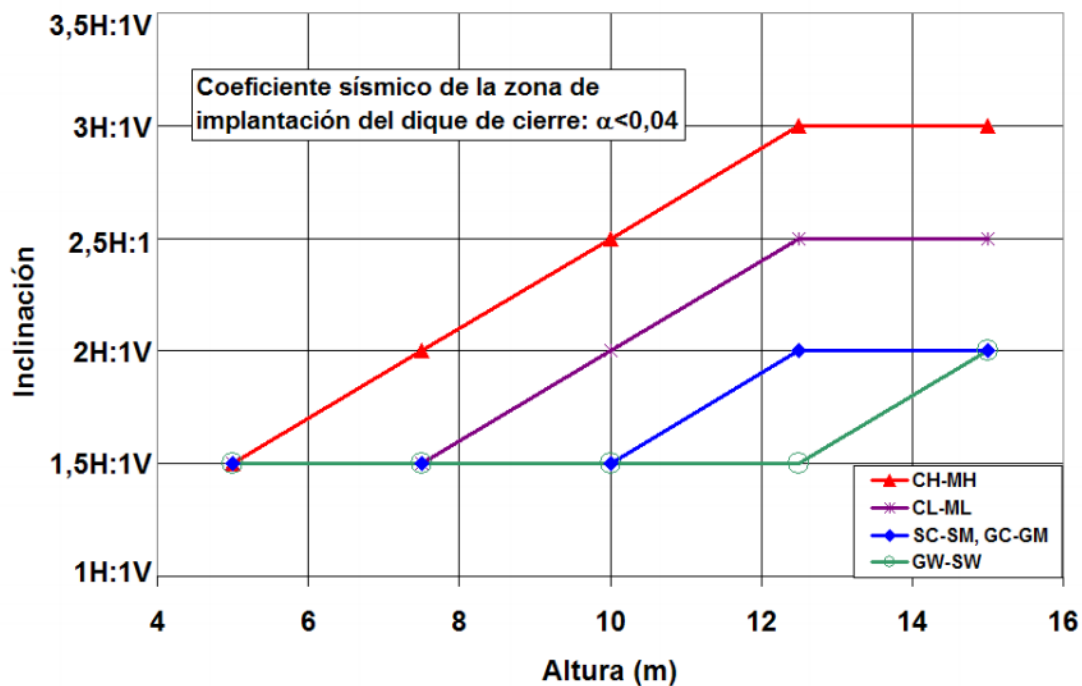


Figura 13.- Ábaco de soluciones posibles de inclinación de taludes interior y exterior para zonas con coeficiente sísmico  $\alpha \leq 0,04$ . (Fuente [11])

#### 4.4.3.- Otros aspectos

##### 4.4.3.1.- Entrada y salida del agua

La entrada del agua en balsa se produce por el fondo de ésta, al igual que la salida, para así disponer de una única conducción y rebajar costes.

##### 4.4.3.2.- Vaciado

El vaciado de la Balsa 2 se produce por el mismo sitio de distribución del agua para su uso, una toma situada en el fondo con bulbo rejillado distanciado 15 cm del suelo para evitar acumulación de sedimentos



que puedan obstruir. En dicha distribución se dispondrá de una tubería con evacuación directa sobre la Balsa 1, la cual ya está dotada de instalación de aliviadero directo a la acequia más próxima.

#### 4.4.3.3.- Drenaje y aliviadero

Dado que se trata de una balsa de llenado y vaciado continuo en periodo de trabajo, y en periodo de desuso se situará el nivel del agua a la mitad, se opta por poner un sistema de aliviadero y drenaje con visor situado a 20 m de la Balsa 2, para dirigir el agua a través de una tubería de 250 mm hacia la Balsa 1, la cual ya está preparada para redirigir el agua a la acequia más próxima en caso de evacuación.

### 4.5.- Instalación hidráulica

Una parte importante de las instalaciones de conducción de agua es que ésta se mantenga en plenas condiciones de funcionamiento con el paso de los años, de ahí que es necesario realizar la instalación con ciertos criterios.

La velocidad media de circulación del agua se sitúa en valores máximos de 2 m/s, para evitar sobrepresiones en el circuito de impulsión y no tener una excesiva pérdida de carga, y velocidad mínima de 0,5 m/s que impida la formación de sedimentos. Mientras que en tramos de aspiración la velocidad debe ser 1,5 m/s o 1 m/s en caso de que aspiren dos o más bombas.

$$(10) \quad v = \frac{Q}{S} = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D^2}$$

$v$  = Velocidad del fluido (m/s)

$S$  = Superficie (m<sup>2</sup>)

$Q$  = Caudal (m<sup>3</sup>/s)

$D$  = Diámetro interior (m)

La presión de trabajo debe ser inferior a la presión máxima soportada por la tubería escogida.

$$(11) \quad P_{\max} = (H_b + \Delta H) < PMA$$

$P_{\max}$  = Presión máxima alcanzada (m. c. a)

$PMA$  = Presión máxima admisible tubería (m)

$H_b$  = Altura energética entregada por el equipo de bombeo (m)

$\Delta H$  = Sobrepresión (m)

Otro factor importante a tener en cuenta es la disposición de ventosas en puntos críticos de instalación para evitar bolsas de aire indeseadas, que puedan dar lugar a reventones o simplemente para evitar el golpe de ariete, considerando su efecto principalmente en longitudes largas.

#### 4.5.1.- Conducción de agua

Se analiza la instalación con un balance de energía entre el punto de captación de agua de la Balsa 1 (Punto A) y el punto de salida del agua en la Balsa 2 (Punto B), quedando la ecuación de Bernoulli definida como la expresión 12, donde se busca expresar  $H_b(Q) = (z_B - z_A) + \frac{(P_B - P_A)}{\rho g} + \frac{(v_B^2(Q) - v_A^2(Q))}{2g} + \Delta h_{AB}(Q)$ , de forma que dependa de una única variable.

$$(12) \quad z_A + \frac{P_A}{\rho g} + \frac{v_A^2}{2g} + Hb_T = z_B + \frac{P_B}{\rho g} + \frac{v_B^2}{2g} + \Delta h_{AB}$$

$z_A$  = Cota del punto A (m)

$z_B$  = Cota del punto B (m)

$P_A$  = Presión en el punto A (Pa)

$P_B$  = Presión en el punto B (Pa)

$v_A$  = Velocidad del punto A (m/s)

$v_B$  = Velocidad del punto B (m/s)

$Hb_T$  = Altura energética entregada por el equipo de bombeo (m)

$\Delta h_{AB}$  = Pérdidas de carga desde el punto A hasta el punto B (m)

$\rho$  = Densidad del agua a una temperatura de 20 °C  $\approx$  ( 1000 Kg/m<sup>3</sup>)

$g$  = Aceleración de la gravedad ( 9,81 m/s<sup>2</sup>)

#### 4.5.1.1.-Pérdidas de carga

Es la pérdida de presión de un fluido en una tubería o elemento puntual a causa de la fricción que produce las partículas del fluido entre sí o contra los elementos y tuberías.

$$(13) \quad \Delta h_{AB} = h_{cAB} + h_{sAB}$$

$h_{cAB}$  = Pérdidas continuas (m)

$h_{sAB}$  = Pérdidas singulares (m)

#### 4.5.1.2.- Pérdidas continuas

Son las pérdidas de carga que tienen lugar a lo largo de todo el recorrido del agua. Se expresan con la ecuación de Darcy-Weisbach.

$$(14) \quad h_{cAB} = \sum f_i \cdot \frac{L_i}{D_i} \cdot \frac{v_i^2}{2g}$$

$h_{cAB}$  = Pérdidas continuas (m)

$D_i$  = Diámetro interior de la conducción (m)

$f_i$  = Factor de fricción

$v_i$  = Velocidad del fluido (m/s)

$L_i$  = Longitud de la conducción (m)

$g$  = Aceleración de la gravedad ( 9,81 m/s<sup>2</sup>)

#### 4.5.1.3.- Factor de fricción

Depende del tipo de flujo que se produce en el interior de la tubería, que viene determinado por el número de Reynolds.

$$\begin{aligned} \text{Laminar} &\rightarrow Re \leq 2000 \\ \text{Zona crítica o de transición} &\rightarrow 2000 < Re < 4000 \\ \text{Turbulento} &\rightarrow Re \geq 4000 \end{aligned}$$

$$(15) \quad Re = v \cdot \frac{D}{\nu}$$

Re = Número de Reynolds (Adimensional)

D = Diámetro interior (m)

$\nu$  = Viscosidad cinemática del agua a 20 °C ( $1,01 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ )  $v$  = Velocidad del fluido (m/s)

$$(16) \quad \text{Laminar} \rightarrow f = \frac{64}{\text{Re}} \quad (17) \quad \text{Turbulento (Swamee - Jain)} \rightarrow f = \frac{1,325}{\ln\left(\frac{k}{3,7 \cdot D} + \frac{5,74}{\text{Re}^{0,9}}\right)^2}$$

k = Rugosidad absoluta del material(mm)

D = Diámetro interior(mm)

#### 4.5.1.4.- Pérdidas singulares

Son las pérdidas de carga producidas en puntos concretos de la instalación a causa y tal como su nombre indica elementos singulares.

$$(18) \quad h_{sAB} = \sum \xi_i \cdot \frac{v_i^2}{2g}$$

$h_{sAB}$  = Pérdidas singulares (m)

$\xi_i$  = Coeficiente de pérdida singular

$v_i$  = Velocidad del fluido (m/s)

g = Aceleración de la gravedad ( $9,81 \text{ m/s}^2$ )

**Tabla 3.-** Valores considerados en las pérdidas de carga singulares.

Valores considerados de uso generalizado de $\xi$	
Codo 45°	0,45
Codo 90°	0,70
Te	0,60
Válvula compuerta abierta	0,25
Válvula de piña	1,75
Válvula de retención	2,75
Estrechamiento	0,40
Ensanchamiento	0,70

#### 4.5.2.- Equipo de bombeo

Parte de la instalación encargada de aportar la energía necesaria para elevar cierto caudal de agua hasta una altura determinada. Puede constar de una única bomba centrífuga o varias intercaladas en serie o paralelo.

##### 4.5.2.1.- Curva característica bomba

El funcionamiento de una bomba centrífuga se ajusta a una curva cuyos parámetros son el caudal (Q) y la altura energética entregada ( $H_b$ ). Dicha curva puede ajustarse a una ecuación de segundo grado como refleja la expresión (19).

$$(19) \quad H_b = a + b \cdot Q + c \cdot Q^2$$

$H_b$  = Altura energètica por la bomba (m)

$Q$  = Caudal ( $m^3/s$ )

La curva anterior puede verse modificada en funci3n del diámetro de rodete y de las revoluciones del motor, generando nuevas curvas de funcionamiento de la bomba.

#### 4.5.2.2.- NPSH y cavitaci3n

El NPSH, es la altura neta de aspiraci3n, siendo la presi3n absoluta m3nima que debe haber a la entrada de la bomba para evitar fen3menos de cavitaci3n. Para que la cavitaci3n no se produzca debe cumplirse la siguiente relaci3n.

$$(20) \quad NS = NPSH_d - NPSH_r$$

$NS$  = Nivel de seguridad(m). M3nimo 1,5 m.

$NPSH_d$  = Presi3n absoluta a la entrada de la bomba (m)

$NPSH_r$  = Presi3n absoluta necesaria en la bomba (m)

Mientras que el  $NPSH_r$  viene determinado por una curva que proporciona el fabricante, el  $NPSH_d$ , debe calcularse.

$$(21) \quad NPSH_d = \frac{P_E - P_v}{\rho \cdot g}$$

$P_E$  = Presi3n a la entrada de la bomba (Pa)

$P_v$  = Presi3n de vaporizaci3n (Pa), a  $20^\circ C \rightarrow P_v = 2340$  Pa

$\rho$  = Densidad del agua a una temperatura de  $20^\circ C \approx (1000 \text{ Kg}/m^3)$

$g$  = Aceleraci3n de la gravedad ( $9,81 \text{ m}/s^2$ )

#### 4.5.2.3.- Potencia bomba

La potencia 3til de la bomba, es la considerada potencia hidr3ulica, la aportada en forma de caudal y altura.

$$(22) \quad P_h = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H_b$$

$P_h$  = Potencia hidraulica ( W)

$Q$  = Caudal ( $m^3/s$ )

$H_b$  = Altura energètica ( m )

$\rho$  = Densidad del agua a una temperatura de  $20^\circ C \approx (1000 \text{ Kg}/m^3)$

$g$  = Aceleraci3n de la gravedad ( $9,81 \text{ m}/s^2$ )

La potencia el3ctrica relaciona la potencia 3til de la bomba con el rendimiento de 3sta, obteniendo la potencia el3ctrica necesaria para el funcionamiento en estas situaciones de caudal y altura obtenidos.

$$(23) \quad \text{Pe} = \frac{\text{P}_h}{\eta}$$

$P_e$  = Potencia eléctrica ( W)

$P_h$  = Potencia hídrica ( W)

 $\eta = \text{Rendimieneto (Decimal)}$ 

#### 4.5.2.4.- Bombas en paralelo iguales

La curva característica Hb-Q de n bombas iguales acopladas en paralelo, se multiplica por n el caudal correspondiente a cada una de ellas.

$$\begin{aligned} \mathbf{Q} &= \mathbf{Q}_1 + \mathbf{Q}_2 + \dots \mathbf{Q}_n \\ \mathbf{Hb} &= \mathbf{Hb}_1 = \mathbf{Hb}_2 = \dots \mathbf{Hb}_n \end{aligned} \quad (24)$$

#### 4.5.2.5.- Bombas en serie

El acoplamiento de n bombas en serie une el tubo de aspiración e impulsión n-1 bombas acopladas, obteniendo un caudal común y el sumatorio de las alturas.

$$\begin{aligned} \mathbf{Q} &= \mathbf{Q}_1 = \mathbf{Q}_2 = \dots \mathbf{Q}_n \\ \mathbf{Hb} &= \mathbf{Hb}_1 + \mathbf{Hb}_2 + \dots \mathbf{Hb}_n \end{aligned} \quad (25)$$

#### 4.5.3.- Golpe de Ariete

Producido por la alternancia de sobrepresiones y depresiones a causa del movimiento oscilatorio del agua debido al arranque y paro de las bombas, haciendo que el agua golpeen las paredes de la tubería y accesorios pudiendo llegar a su rotura.

Como solución las conducciones deben asegurarse con tuberías que soporten la presión producida por la altura manométrica más el incremento producido por golpe de ariete.

Proceso de cálculo del golpe de ariete en impulsiones. En primer lugar se obtendrá el tiempo de parada del agua mediante la ecuación de Mendiluce.

$$(26) \quad t_p = C + \frac{K \cdot L \cdot v}{g \cdot Hb_T}$$

$t_p$  = Tiempo de parada (s)  
 $C$  = Coeficiente que depende de la relación  $Hb/L$   
 $g$  = Aceleración gravedad ( $9,81 \text{ m/s}^2$ )  
 $Hb_T$  = Altura energética del equipo de bombeo (m)

$K$  = Coeficiente en función de  $L$   
 $L$  = Longitud (m)  
 $v$  = Velocidad (m/s)

**Tabla 4.-** Valores del coeficiente C de la fórmula de Mendiluce.

Hb/L (%)	10	20	25	30	35	40
C	1	1	0,8	0,5	0,4	0
Los valores intermedios se obtienen por interpolación						

**Tabla 5.-** Valores del coeficiente K de la fórmula de Mendiluce.

L	250	500	1000	1500
K	2	1,75	1,50	1,25
Los valores intermedios se obtienen por interpolación				

Calculado el tiempo de parada, se debe conocer la celeridad de la onda, siendo esta la velocidad de propagación de las ondas de agua.

$$(27) \quad a = \frac{9900}{\sqrt{48,3 + K_c \cdot \frac{D_i}{e}}}$$

a = Celeridad de la onda (m/s)

$D_i$  = Diámetro interior de la tubería (mm)

$e_i$  = Espesor de la tubería (mm)

$K_c$  = Parámetro adimensional, calculado a partir de  $K_c = \frac{10^{10}}{E}$ , siendo E, el módulo de elasticidad del material de la tubería en  $\left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^2}\right)$

Con ambas expresiones se determina la longitud crítica, que es la distancia que separa el final de la impulsión respecto el punto crítico. En la longitud crítica rige la fórmula de Michaud.

$$(28) \quad L_c = \frac{a \cdot t_p}{2}$$

$L_c$  = Longitud crítica (m)

a = Celeridad de la onda (m/s)

$t_p$  = Tiempo de parada (s)

Comparando la longitud crítica con longitud crítica con la longitud de la conducción se determina que fórmula utilizar para el cálculo del incremento o decremento de presión.

**Tabla 6.-** Comparación de longitud de la conducción con la longitud crítica.

Longitudes	Tipo de impulsión	Tiempo de parada	Fórmula	Cálculo
$L \leq L_c$	Corta	$t_p \geq 2L/a$	Michaud	$\Delta H = \pm \frac{2 \cdot L \cdot v}{g \cdot t_p}$
$L > L_c$	Larga	$t_p < 2L/a$	Allievi	$\Delta H = \pm \frac{a \cdot v}{g}$

## 4.6.-Dimensionado de la instalación solar

En una instalació fotovoltaica autònoma directa per a bombeo de aigua, se tomarà de partida la energia requerida per la instalació en funció de les carges a alimentar i el rendiment global del sistema fotovoltaico.

### 4.6.1.-Paneles

#### 4.6.1.1.- Potencia pico instalació

Sistema generador de la instalació, dimensionado per a aportar la energia demandada per la instalació de bombeo per a complir la demanda de aigua necessaria. La demanda energètica en el mes de major consum, marca la situació crítica a analitzar amb major detenimiento.

$$(29) \quad E_r = \frac{E_T}{R} = \frac{E_T}{1 - k_v - k_c}$$

$E_r$  = Energia requerida (kWh)

$E_T$  = Energia total diaria (kWh)

$k_v$  = Coeficiente de pèrdues per rendiment del inversor

Inversor de onda senoidal pura → 0,05

Inversor de onda senoidal → 0,1

Inversor de onda quadrada → 0,4

$k_c$  = Coeficiente de pèrdues variades per efecte Joule (Entre 0,05 – 0,15)

Dado que la potencia pico solo se genera en determinadas condiciones de temperatura e irradiación (1000 W/m<sup>2</sup>), debido al comportamiento de las células fotovoltaicas, posible suciedad y pérdidas por reflexión en momentos de incidencia muy oblicua, etc., si entendemos el HSP como el multiplicador de cada vatio pico (Wp) instalado en paneles para obtener energia diaria que estos generan ( $E_p$ ), podemos modificar este HSP con un factor de rendimiento de 0,9.

$$(30) \quad E_p = 0,9 \cdot HSP$$

$E_p$  = Energia solar pico (Wh)

HSP = Horas solares pico

La potencia pico total del campo queda definida por el sistema generador o campo fotovoltaico, queda definida por:

$$(31) \quad P_{p \text{ campo}} = \frac{E_r}{E_p}$$

$P_{p \text{ campo}}$  = Potencia pico campo (kWp)

$E_r$  = Energia requerida (kWh)

$E_p$  = Energia solar pico (Wh)

#### 4.6.1.2.- Número de paneles

El número de paneles del campo fotovoltaico, queda definido por la potencia pico del panel y la potencia total necesaria de la instalación, teniendo en cuenta un coeficiente de mayoración del 10 % por posible deterioro de la instalación con el tiempo.

$$(32) \quad NP_{\max} = 1,1 \cdot \frac{P_{p \text{ campo}}}{P_{p \text{ panel}}}$$

$NP_{\max}$  = Número de paneles máximo

$P_{p \text{ campo}}$  = Potencia pico campo (kW)

$P_{p \text{ panel}}$  = Potencia pico panel (kW)

#### 4.6.1.3.- Separación entre filas de paneles

La distancia mínima de separación, debe garantizar la ausencia de sombreados el día con el Sol más bajo.

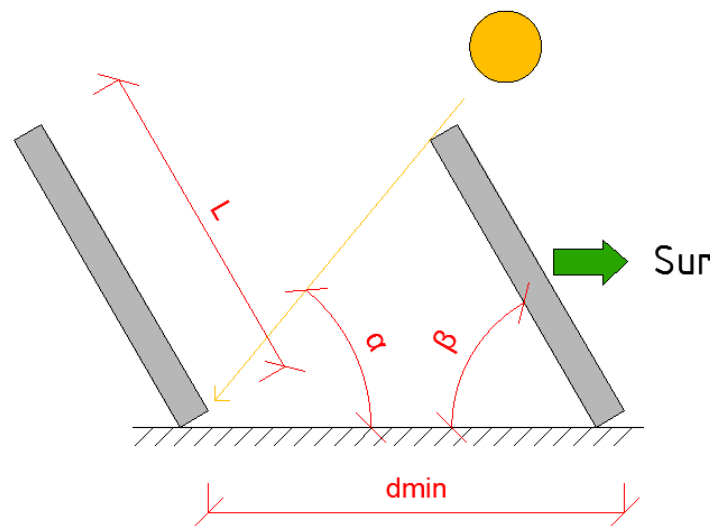


Figura 14.- Separación mínima paneles.

$$(33) \quad d_{\min} = \left( l \cdot \cos(\beta) + \frac{l \cdot \sin(\beta)}{\tan(\alpha)} \right) \cdot \cos \varphi$$

$d_{\min}$  = Distancia mínima de separación entre las filas de los paneles(m)

$l$  = Longitud del panel (m)

$\beta$  = Ángulo de inclinación de los paneles(°)

$\alpha$  = Altura solar el 21 de Diciembre a las 12 horas (°)

$\varphi$  = Azimut solar 21 de Diciembre a las 12 horas (°)

#### 4.6.1.4.- Comportamiento paneles

En condiciones TONC, el panel trabaja con irradiancia y temperatura diferente a las condiciones estándar de medida en laboratorio (condiciones STC), las presentadas en la etiqueta del panel, por lo que su comportamiento será diferente.



Cuando se dan condiciones de irradiación diferentes a las STC o TONC, se modifica el comportamiento de los paneles, al variar la corriente generada y la tensión ofrecida, por lo que es necesario estudiar el panel bajo estas circunstancias.

#### 4.6.1.5.- Temperatura de célula

La temperatura de célula en condiciones diferentes a las TONC, incrementa la temperatura de la célula para una temperatura ambiente de 20°C a una irradiación de 800W/m<sup>2</sup>.

$$(34) \quad \Delta T_{\text{célula}800} = T_{\text{célula}} - 20^{\circ}\text{C}$$

$\Delta T_{\text{célula}800}$  = Incremento de temperatura de célula en condiciones TONC

$T_{\text{célula}}$  = Temperatura célula en condiciones TONC (°C)

Incremento de temperatura correspondiente a una irradiación G.

$$(35) \quad \Delta T_{\text{célula}G} = \frac{\Delta T_{\text{célula}800}}{800} \cdot G$$

$\Delta T_{\text{célula}G}$  = Incremento de temperatura célula en condiciones de irradiancia diferente a la TONC (°C)

$\Delta T_{\text{célula}800}$  = Incremento de temperatura de célula en condiciones TONC

G = Irradiancia en W/m<sup>2</sup>

La temperatura de célula para nuevas condiciones de irradiación y temperatura ambiente queda definida con las expresiones (36) y (37).

$$(36) \quad T_{\text{célula}G_T} = \Delta T_{\text{célula}G} + T$$

$T_{\text{célula}G_T}$  = Temperatura de célula a una irradiancia y temperatura determinada (°C)

$\Delta T_{\text{célula}G}$  = Incremento de temperatura célula en condiciones de irradiancia diferente a la TONC (°C)

T = Temperatura ambiente (°C)

$$(37) \quad \Delta T = T_{\text{célula}G_T} - T_{\text{STC}}$$

$\Delta T$  = Incremento de temperatura (°C)

$T_{\text{célula}G_T}$  = Temperatura de célula a una irradiancia y temperatura determinada (°C)

$T_{\text{STC}}$  = Temperatura de célula en condiciones STC (°C)

En estas nuevas condiciones también varía la intensidad de cortocircuito y la tensión de vacío.

$$(38) \quad I_{\text{cc}G} = G \cdot \frac{I_{\text{cc}}}{1000}$$

$I_{cc_G}$  = Intensidad de cortocircuito en condiciones de irradiancia diferente a las STC (A)

$I_{cc}$  = Intensidad de cortocircuito en condiciones de irradiancia STC (A)

$G$  = Irradiancia en  $W/m^2$

$$(39) \quad I_{cc_{G_T}} = I_{cc_G} \cdot [I_{cc}(\alpha) \cdot \Delta T]$$

$I_{cc_{G_T}}$  = Intensidad de cortocircuito en condiciones de irradiancia y temperatura diferentes a las STC (A)

$I_{cc_G}$  = Intensidad de cortocircuito en condiciones de irradiancia diferente a la STC (A)

$I_{cc}(\alpha)$  = Coeficiente de intensidad – temperatura ( $mA/^\circ C$ )

$G$  = Irradiancia en ( $W/m^2$ )

$\Delta T$  = Incremento de temperatura ( $^\circ C$ )

$$(40) \quad V_{oc_{G_T}} = V_{oc} \cdot [V_{oc}(\alpha) \cdot \Delta T]$$

$V_{oc_{G_T}}$  = Voltaje de circuito abierto en condiciones de irradiancia y temperatura diferentes a las STC (V)

$V_{oc}$  = Voltaje de circuito abierto en condiciones de irradiancia diferente a la STC (V)

$V_{oc}(\beta)$  = Coeficiente de voltaje – temperatura ( $mV/^\circ C$ )

$G$  = Irradiancia en ( $W/m^2$ )

$\Delta T$  = Incremento de temperatura ( $^\circ C$ )

#### 4.6.1.6.- Punto de funcionamiento panel

En estas nuevas condiciones la potencia nominal del panel varía considerablemente, siendo ésta el resultado de la nueva intensidad y voltaje de funcionamiento.

$$(41) \quad I_{mp_{G_T}} = I_{cc_{G_T}} \cdot \frac{I_{mp}}{I_{cc}}$$

$I_{mp_{G_T}}$  = Intensidad en condiciones de irradiancia y temperatura diferentes a las STC (A)

$I_{cc_{G_T}}$  = Intensidad de cortocircuito en condiciones de irradiancia y temperatura diferentes a las STC (A)

$I_{mp}$  = Intensidad de funcionamiento en condiciones STC (A)

$I_{cc}$  = Intensidad de cortocircuito en condiciones STC (A)

$$(42) \quad V_{mp_{G_T}} = V_{oc_{G_T}} \cdot \frac{V_{mp}}{V_{oc}}$$

$V_{mp_{G_T}}$  = Voltaje de funcionamiento en condiciones de irradiancia y temperatura diferentes a las STC (V)

$V_{oc_{G_T}}$  = Voltaje de circuito abierto en condiciones de irradiancia y temperatura diferentes a las STC (V)

$V_{mp}$  = Voltaje de funcionamiento en condiciones STC (V)

$V_{oc}$  = Voltaje de circuito abierto en condiciones STC (V)

$$(43) \quad P_{n_{G_T}} = V_{mp_{G_T}} \cdot I_{mp_{G_T}}$$

$P_{n_{G_T}}$  = Potencia nominal en condiciones de irradiancia y temperatura diferentes a las STC (W)

$I_{mp_{G_T}}$  = Intensidad en condiciones de irradiancia y temperatura diferentes a las STC (A)

$V_{mp_{G_T}}$  = Voltaje de funcionamiento en condiciones de irradiancia y temperatura diferentes a las STC (V)

#### 4.6.2.-Inversor

Conocido el número de paneles, es preciso conocer las características del inversor, que son las que dictaminan la forma de conexionado de los paneles fotovoltaicos. Para ello se debe analizar las condiciones extremas de la instalación de forma que el voltaje máximo, mínimo y la intensidad mínima estén dentro de los rangos que ofrece el inversor.

$$(44) \quad NS_{\min} = \frac{V_{\min \text{ Inversor}}}{V_{\min \text{ Panel}}}$$

$NS_{\min}$  = Número de paneles en serie mínimo

$V_{\min \text{ Inversor}}$  = Voltaje mínimo de entrada en el inversor (V)

$V_{\min \text{ Panel}}$  = Voltaje mínimo panel (V)

$$(45) \quad NS_{\max} = \frac{V_{\max \text{ Inversor}}}{V_{\max \text{ Panel}}}$$

$NS_{\max}$  = Número de paneles en serie máximo

$V_{\max \text{ Inversor}}$  = Voltaje máximo de entrada en el inversor (V)

$V_{\max \text{ Panel}}$  = Voltaje máximo panel (V)

Se selecciona el número de paneles en serie final.  $NS_{\min} \leq NS \leq NS_{\max}$

El número de ramas en paralelo determina la intensidad total del campo fotovoltaico.

$$(46) \quad NP_{\text{paralelo}} = \frac{NP_{\max}}{NS}$$

$NP_{\text{paralelo}}$  = Número de ramas en paralelo

$NP_{\max}$  = Número de paneles máximo

$NS$  = Número de paneles seleccionado

$$(47) \quad I_{\text{campo}} = NP_{\text{paralelo}} \cdot I_{\max \text{ Panel}}$$

$I_{\text{campo}}$  = Intensidad campo fotovoltaico

$N_{P_{\text{paralelo}}}$  = Número de ramas en paralelo

$I_{\text{máx Panel}}$  = Intensidad máxima panel

#### 4.6.3.- Conductores y protecciones

La selección de la sección de los conductores monofásicos y trifásicos sigue el procedimiento utilizado en las instalaciones eléctricas habituales. El cableado deberá estar dimensionado para una intensidad no inferior al 125 % de la máxima y una caída de tensión máxima de 1,5 % entre los paneles y el inversor, tal como exige la **ITC-BT 40 Instalaciones generadoras de Baja Tensión**.

$$(48) \quad I_{PR} = I \cdot 1,25$$

$I_{PR}$  = Intensidad máxima de seguridad (A)

$I$  = Intensidad máxima de funcionamiento (A)

##### 4.6.3.1.- Cálculo de sección por intensidad máxima admisible y tipo de instalación

Las intensidades máximas admisibles se regirán por lo indicado en la **Norma UNE 20.460-5-523**, o bien la **Tabla 1 de la ICT-BT-19** acordes a una temperatura máxima de funcionamiento, en caso contrario se determina la sección a partir de las fichas técnicas ofrecidas por los diferentes tipos de cable dependiendo su función.

##### 4.6.3.2.- Cálculo de sección por caída de tensión

En cableados de corriente continua monofásica se rigen a la expresión siguiente.

$$(49) \quad S = \frac{2 \cdot L \cdot I}{\gamma \cdot \Delta U}$$

$S$  = Sección ( $\text{mm}^2$ )

$I$  = Intensidad máxima de seguridad (A)

$L$  = Longitud de cableado (m)

$\Delta U$  = Caída de tensión (V)

$\gamma$  = Conductividad del cobre a 70 °C ( $\frac{\text{m}}{\Omega \cdot \text{m}^2}$ )

Para de corriente alterna trifásica se trabaja con la potencia al 125% en caso de motores.

$$(50) \quad S = \frac{L \cdot P}{\gamma \cdot \Delta U \cdot U}$$

$S$  = Sección ( $\text{mm}^2$ )

$P$  = Potencia (W)

$L$  = Longitud de cableado (m)

$\Delta U$  = Caída de tensión (V)

$\gamma$  = Conductividad del cobre a 70 °C ( $\frac{\text{m}}{\Omega \cdot \text{m}^2}$ )

#### 4.6.3.3.- Protecciones

Son las encargadas de producir el corte de la corriente, mediante fusibles, en la instalación en el momento que no trabaje a su intensidad de funcionamiento, para proteger los elementos de la instalación y cableado.

$$(51) \quad I_{\text{Nonimal de funcionamiento}} \leq I_{\text{Nominal Fusible}} \leq I_{\text{Máx admisible línea}}$$

Dado que los fusibles son de corte rápido, también es aconsejable instalar magnetotérmicos o fusibles seccionadores que permitan la maniobra de forma que se pueda cortar el paso de la corriente para realizar mantenimientos.

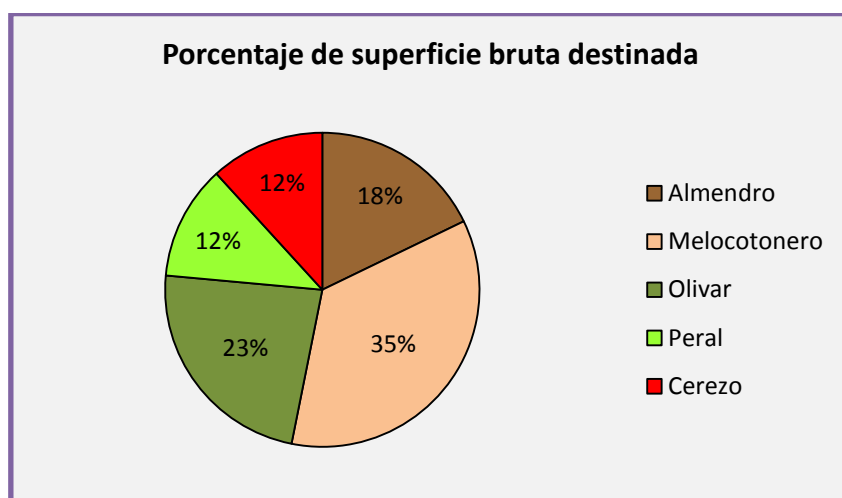
## 5.-Resultados Caso 1: Bombeo Solar

### 5.1.- Resultados obtenidos

#### 5.1.1.-Demanda de agua

La superficie bruta que debe abastecer la Balsa 2 es de **115,36 ha**, las cuales están distribuidas en **47,46 ha** actualmente en secano que pasarán a ser de regadío y **67,90 ha** que actualmente son de regadío pero que no disponen de presión en condiciones para el correcto funcionamiento del riego y actualmente trabajan con bombas adicionales y grupos electrógenos.

Los cultivos arbóreos encontrados en estas **115,36 ha** son, olivos, almendros, perales, cerezos, melocotoneros y variedades de melocotoneros. (**Plano 04**).



**Figura 15.-** Porcentaje teórico de cultivos arbóreos presentes en las 115,36 ha.

Las necesidades netas medias obtenidas a partir de la plataforma del SIAR entre los años 2015-2019 en la ubicación concreta, y por consiguiente, las necesidades totales de riego para los diferentes cultivos son las siguientes.

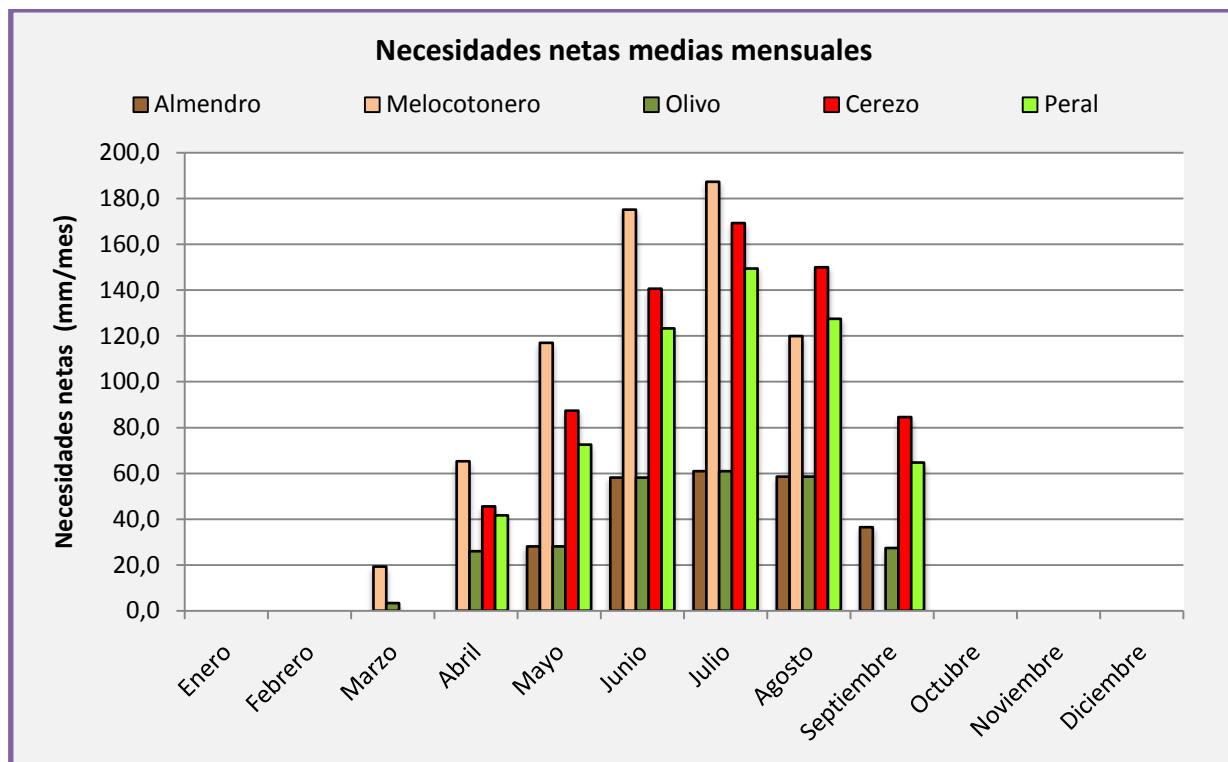


Figura 16.- Necesidades netas medias mensuales entre 2015-2019 de los cultivos analizados.

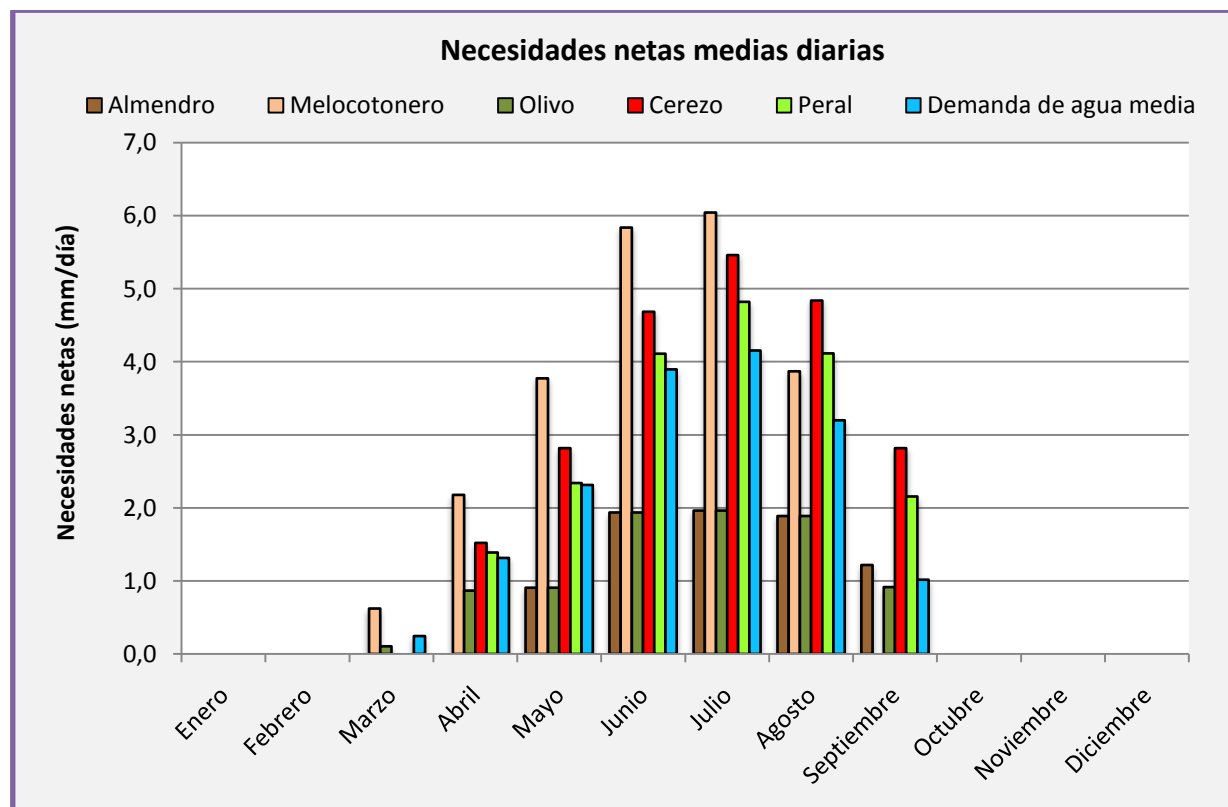


Figura 17.- Necesidades netas medias diarias entre 2015-2019 de los cultivos analizados.



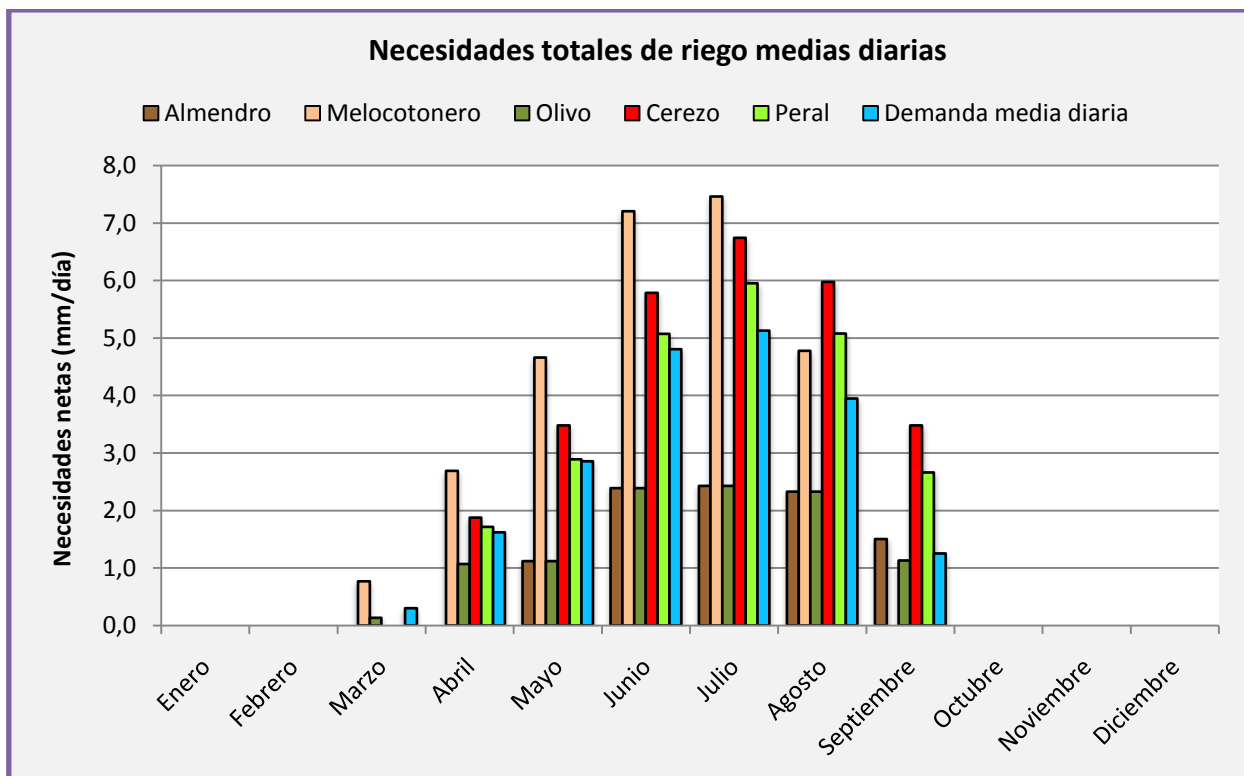


Figura 18.- Necesidades totales de riego medias diarias entre 2015-2019 de los cultivos analizados.

Tabla 7.- Necesidades totales medias.

Fecha	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Días	31,0	28,0	31,0	30,0	31,0	30,0
Nt(mm/día)	0,0	0,0	0,3	1,6	2,9	4,8
Nt (m <sup>3</sup> /día·ha)	0,0	0,0	348,5	1870,3	3294,5	5544,7
Nt (m <sup>3</sup> /mes)	0,0	0,0	10802,3	56107,9	102128,9	166340,7

Fecha	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Días	31,0	31,0	30,0	31,0	30,0	31,0
Nt(mm/día)	5,1	3,9	1,3	0,0	0,0	0,0
Nt (m <sup>3</sup> /día·ha)	5914,7	4553,0	1445,7	0,0	0,0	0,0
Nt(m <sup>3</sup> /mes)	183354,5	141141,9	43371,5	0,0	0,0	0,0

La demanda media máxima de agua diaria, exactamente **5,13 mm/día**, se produce en el mes de julio, equivalente a **51,3 m<sup>3</sup>/ ha·día** de forma generalizada, que multiplicado por la superficie bruta total (115,36 ha) equivale a **5915 m<sup>3</sup>/día**.

### 5.1.2.-Punto de funcionamiento óptimo

El punto de funcionamiento óptimo, establece la relación entre el costo global de la solución diseñada y el caudal, para ello se ha partido de unos valores estándares y premisas que permiten determinar el mínimo coste sin entrar en excesivos detalles que permiten elaborar el diseño que más se ajuste a la necesidad.

**Tabla 8.-** Criterios establecidos para determinar el punto de funcionamiento óptimo.

Características y criterios de prediseño de la instalación	
Longitud total tubería (m)	770
Porcentaje equivalente de pérdidas singulares respecto las continuas (%)	50
Cota de aspiración agua (m)	180
Cota de impulsión agua (m)	250
Rendimiento general equipo de bombeo (%)	75
Rendimiento general instalación fotovoltaica (%)	80
Velocidad media de funcionamiento (m/s)	1-1,6
Volumen mínimo de balsa neto (m <sup>3</sup> )	5914,7
Porcentaje de evaporación (%)	10
Días autonomía balsa	1,5

**Tabla 9.-** Precios orientativos para establecer el punto de funcionamiento óptimo.

Listado de precios		
Coste instalación fotovoltaica	1,5	€/W
Equipo de bombeo	220	€/kW
Tubería		
De 300 a 400 mm	323	€/m
De 400 a 500 mm	397	€/m
De 500 a 600 mm	497	€/m
Balsa		
Hasta 15000 m <sup>3</sup>	8,4	€/m <sup>3</sup>
De 15000 a 40000 m <sup>3</sup>	7,4	€/m <sup>3</sup>
Más de 40000 m <sup>3</sup>	5,3	€/m <sup>3</sup>

\*Precios obtenidos a partir del generador de precios Arquímedes y consultando con empresas del sector con márgenes de seguridad e I.V.A. incluidos.

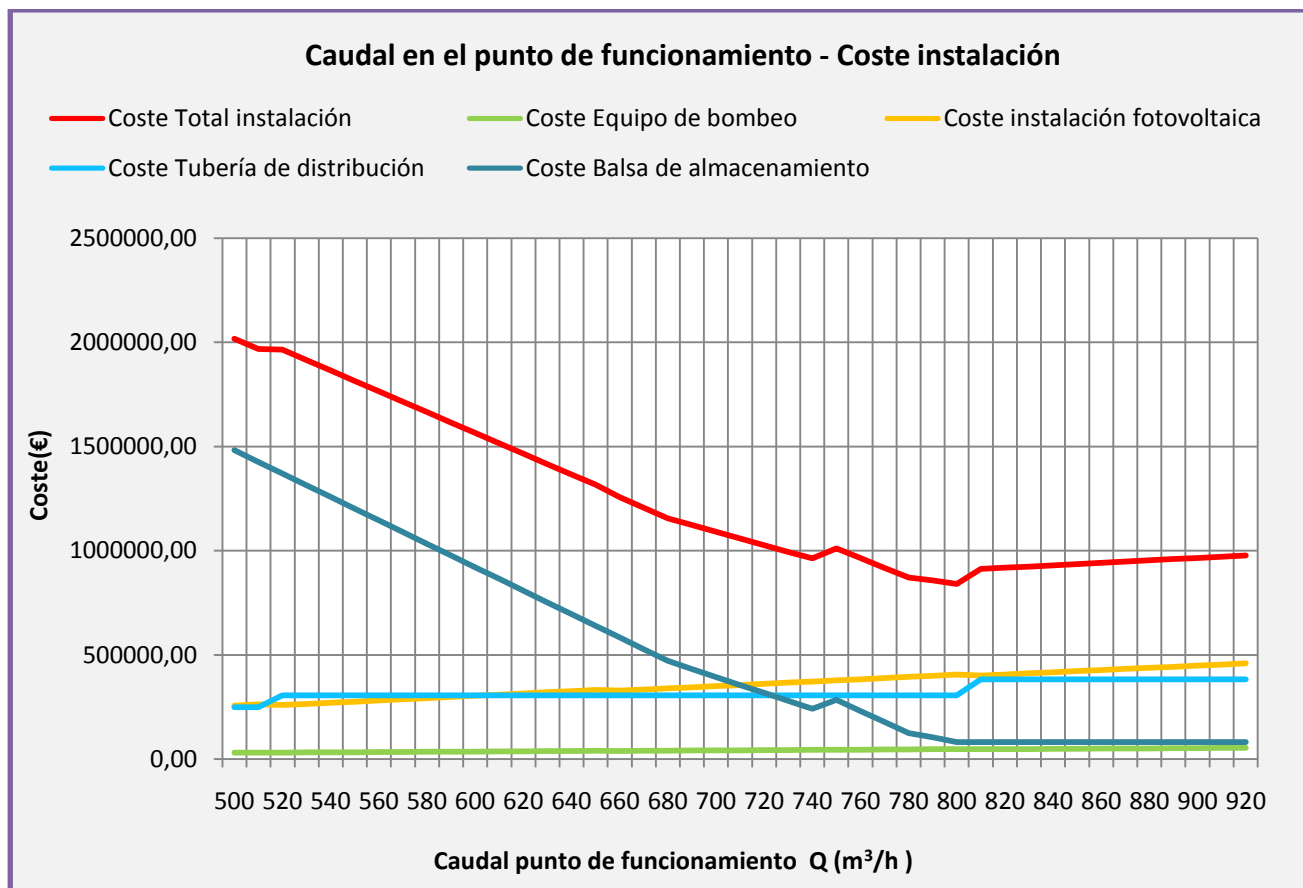


Figura 19.- Relación entre el coste total de la instalación y el caudal de funcionamiento.

El rango de puntos de funcionamiento que minimiza costes se produce entre **770-810 m³/h**, deducido a partir de la demanda máxima a satisfacer en condiciones más desfavorables, el equilibrio entre el volumen de la Balsa 2, las Horas Solares Pico y el Coste total instalación. A partir de ahí ya se puede entrar en detalle para diseñar la instalación hidráulica para trabajar en estos rangos de caudal.

### 5.1.3.-Diseño instalación hidráulica

#### 5.1.3.1.-Descripción de la instalación

El modelo de instalación hidráulica por el que se opta es una doble impulsión (**Plano 05**). En primer lugar se ubica una bomba sumergible dentro de la Balsa 1 la cual elevará el agua hasta una Caseta de rebombeo (**Plano 09**) situada a cota +208,5 msnm con dos bombas horizontales. La idea de este diseño surge de la combinación de poder funcionar la Bomba sumergible + Bomba horizontal o Bomba sumergible + 2 Bombas horizontales dependiendo de la potencia aportada por las placas con tal de maximizar el rendimiento de la instalación mediante el control de un automatismo.

Después se encuentra la caseta de distribución 1 (**Plano 08**), la cual habilita el agua directa para el consumo a 106,91 ha o en caso de no consumirse asciende pasando por la caseta de distribución 2 (**Plano 07**), que alimenta a 8,45 ha, hasta la Balsa 2 donde se almacena para su posterior consumo. En la tubería que va desde la Balsa 2 hasta la caseta de distribución 1, el agua circula bidireccionalmente.

La instalación está diseñada para almacenar toda la demanda de agua diaria con llenado durante el día y suponiendo que solo se consume de noche el día más desfavorable, de esta forma se asegura una instalación ampliamente capacitada con opción de poder ofrecer mayor servicio en un futuro si fuera necesario.

Los tramos resultantes del diseño con sus respectivas características se expresan en la Tabla 9.

**Tabla 10.-** Descripción de los tramos de tuberías y elementos en la instalación hidráulica.

Nº de tramo	1	2	3	4	5
Longitud (m)	20	300	20	380	40
Material Tubería	PE100	PE100	PE100	PE100	PE100
Presión tubería (atm)	10	10	10	10	10
Diámetro (mm)	355	500	500	450	355
Grosor Tubería (mm)	21,1	29,7	29,7	26,7	21,1
Rugosidad tubería (mm)	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003
Codo 45°	2	0	4	0	0
Codo 90°	0	2	1	5	3
Te	0	1	2	1	0
Vál. compuerta abierta	0	2	3	2	1
Válvula de piña	0	0	0	0	1
Válvula de retención	1	0	1	0	0
Estrechamiento	0	0	0	1	2
Ensanchamiento	2	1	2	0	0
Coefficiente de pérdidas singulares	5,05	3,2	8,6	5	4,9

#### 5.1.3.2.-Equipo de bombeo

Se han analizado diferentes opciones para definir la más fiable ante la situación más desfavorable, y como se ha mencionado anteriormente se ha optado por un bombeo formado por una bomba sumergible y dos bombas horizontales. La idea es que el equipo de ajuste dependiendo de la cantidad de potencia aportada por las placas y por un sistema de sondas de nivel que informan y deciden la combinación necesaria para mantener a su máxima capacidad la Balsa 2.

Por ello se opta por este diseño permitiendo la configuración **Modo 1: Bomba sumergible + Bomba horizontal (175 kW de potencia nominal)** o la configuración **Modo 2: Bomba sumergible + 2 Bombas horizontales (250 kW de potencia nominal)**. Aportando **556 m<sup>3</sup>/h a 74,59 m** y **804 m<sup>3</sup>/h 79,96 m** en su punto de funcionamiento con una demanda de potencia de consumo de **151,05 kW y 214,19 kW** respectivamente.

**Tabla 11.-** Puntos que definen las curvas características de la Bomba horizontal de IDEAL 6380B 150/200.

Bomba horizontal GNI/RNI 150-40			6380B 150/200 Diámetro rodete 380 mm		
H (m)	Q(L/s)	Q(m <sup>3</sup> /h)	P (kW)	Q(m <sup>3</sup> /h)	NPSHr
52,4	40	144	33,3	144	2,3
52,2	50	180	36,7	216	2,4
52,0	60	216	40,0	288	2,5
51,8	70	252	44,2	385	3,0
51,2	80	288	47,5	446	3,5
50,2	90	324	51,7	497	4,0
48,3	100	360	55,0		
47,0	110	396	58,3		
45,0	120	432	61,7		
42,2	130	468	65,0		
38,3	140	504	67,5		

Potencia nominal 75 kW

**Tabla 12.-** Puntos que definen las curvas características de la Bomba sumergible de IDEAL P0058786.

Bomba sumergible ARS 250-42 2U			P0058786 Diámetro rodete 250 mm		
H (m)	Q(L/s)	Q(m <sup>3</sup> /h)	P (kW)	Q(m <sup>3</sup> /h)	
52,1	28	100	87,1	216,0	
51,0	42	150	87,6	288,0	
49,8	56	200	88,4	360,0	
48,6	69	250	89,4	432,0	
47,4	83	300	90,5	504,0	
46,1	97	350	91,8	576,0	
44,8	111	400	93,2	648,0	
43,5	125	450	94,6	720,0	
42,2	139	500	95,8	792,0	
39,5	167	600	96,6	864,0	
33,7	222	800	96,8	936,0	
27,5	278	1000	96,5	1008,0	

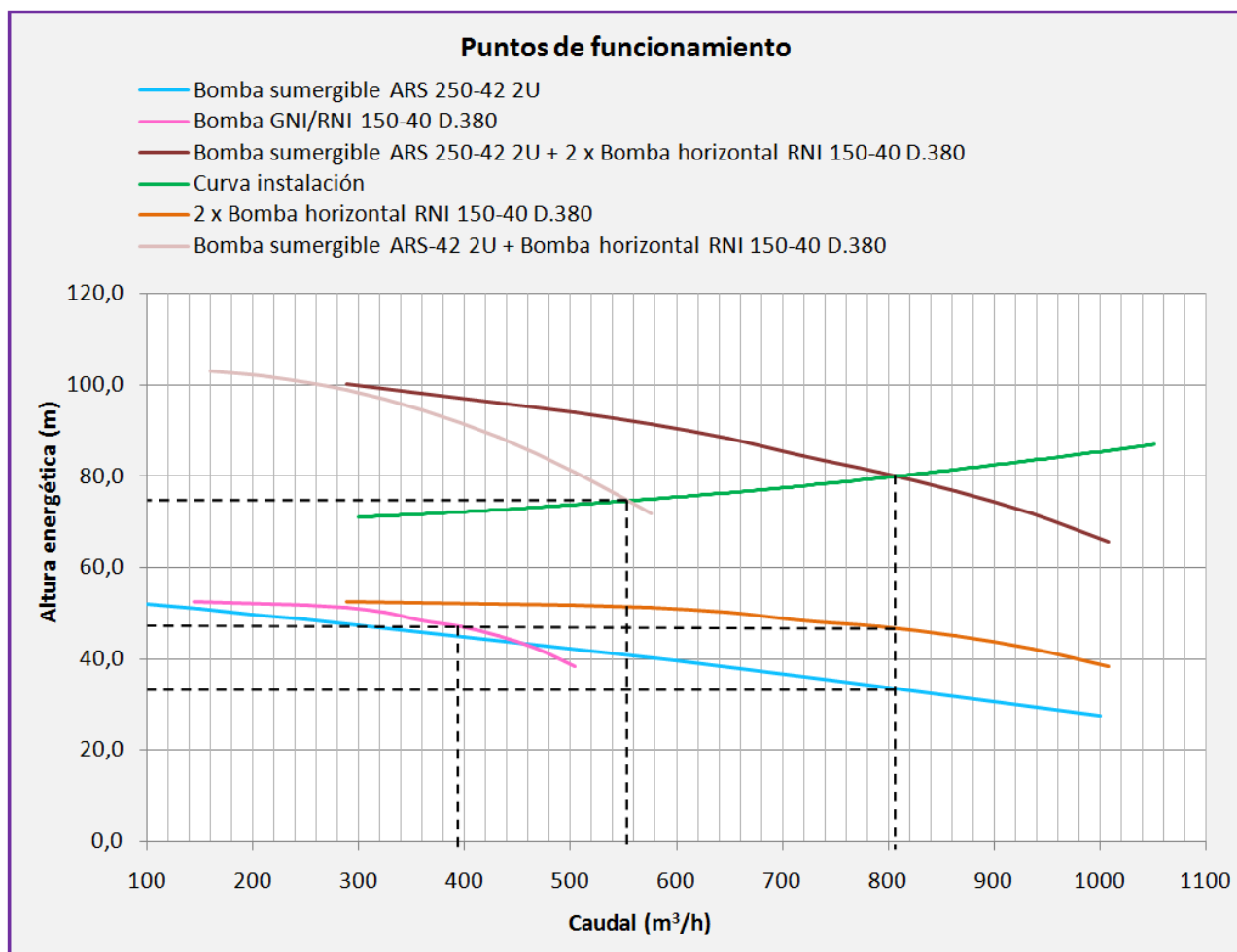
Potencia nominal 100 kW

**Tabla 13.-** Puntos característicos que definen la curva característica del funcionamiento en Modo 1.

Modo 1		P. nominal	175 kW
Bomba sumergible+ Bomba horizontal			
H (m)	Q (m <sup>3</sup> /h)	Q (m <sup>3</sup> /s)	Potencia (kW)
102,9	160	0,04	116,83
101,8	216	0,06	121,18
98,9	288	0,08	127,17
94,5	360	0,10	133,52
88,5	432	0,12	140,12
81,0	504	0,14	146,85
71,9	576	0,16	153,59

**Tabla 14.-** Puntos característicos que definen la curva característica del funcionamiento en Modo 2.

Modo 2		P.nominal	250 kW
2x Bomba horizontal + Bomba sumergible			
H(m)	Q(m <sup>3</sup> /h)	Q(m <sup>3</sup> /s)	Potencia consumida (kW)
100,1	288	0,08	154,20
98,1	360	0,10	161,72
96,0	432	0,12	169,40
93,9	504	0,14	178,84
91,3	576	0,16	186,80
88,3	648	0,18	196,54
84,3	720	0,20	204,60
80,9	792	0,22	212,46
76,8	864	0,24	219,94
71,7	936	0,26	226,80
65,6	1008	0,28	231,50



**Figura 20.-** Curvas características de las bombas y punto de funcionamiento de la instalación.

### 5.1.3.2.- Balsa 2

Determinado el caudal de funcionamiento y junto las horas solares pico se determina el volumen mínimo de agua ( $4492,08 \text{ m}^3$ ) que debe almacenar la balsa para satisfacer la demanda. A partir de ahí se opta por una autonomía de 2 días como consecuencia de cualquier posible imprevisto y se aplican las pérdidas de evaporación siendo el volumen desde el que se parte el diseño de  **$9882,58 \text{ m}^3$** .

Se dimensiona con una relación de talud tanto exterior como interior de **1,5H:1V** con una profundidad máxima de **5 m** y una anchura de coronación de **4 m**.

### 5.1.4.-Análisis solar

La instalación fotovoltaica se pretende ubicar en el interior de la Balsa 1 para amortizar ese espacio muerto que genera la balsa. Las coordenadas son **Latitud  $41,483^\circ$  y Longitud  $0,376^\circ$  a una altura de 180 msnm**.

Las horas solares pico se han determinado a partir de los datos del PVGIS del 2012 al 2016.

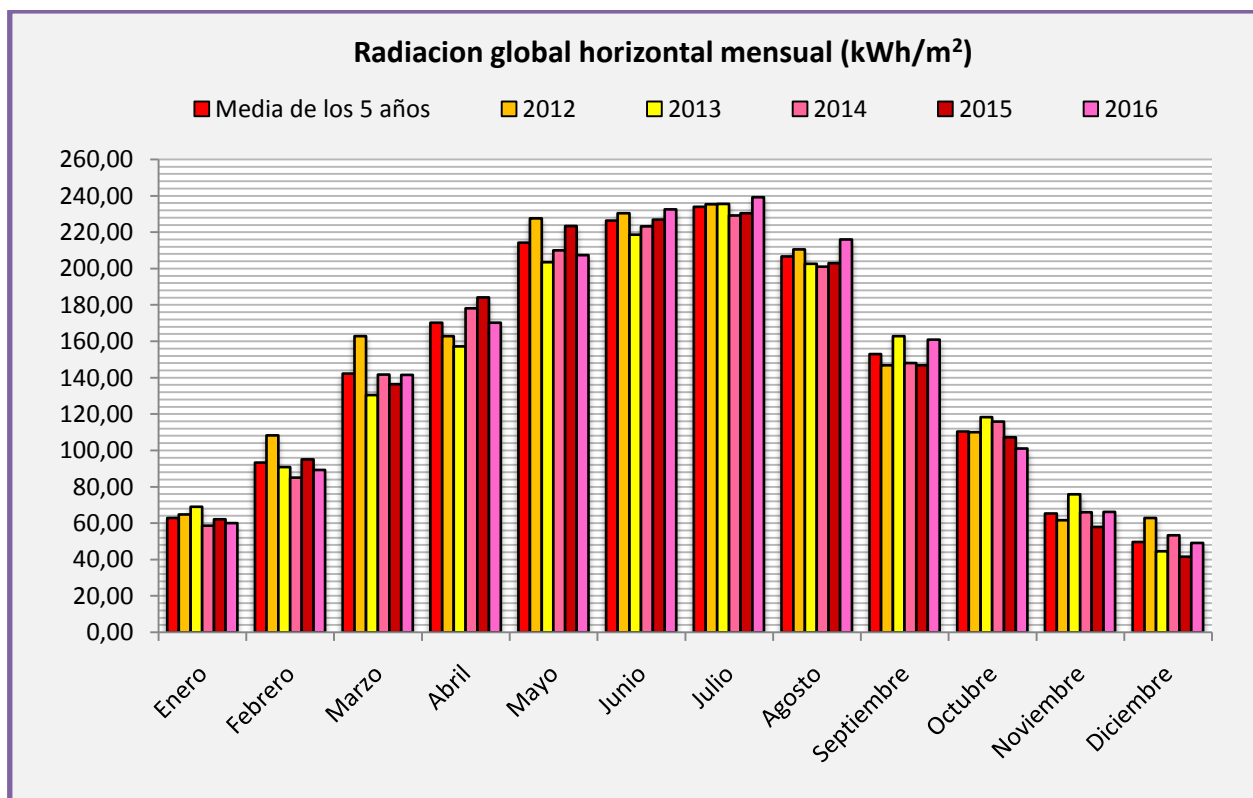


Figura 21.- Radiación global horizontal entre 2012-2016.

**Tabla 15.-** Radiación global horizontal media entre 2012-2016

Meses	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Radiación media anual	62,87	93,40	142,29	170,28	214,23	226,39
Radiación horizontal media diaria	2,03	3,34	4,59	5,68	6,91	7,55

Meses	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Radiación media anual	233,97	206,66	152,98	110,36	65,31	49,78
Radiación horizontal media diaria	7,55	6,67	5,10	3,56	2,18	1,61

**Tabla 16.-** Determinación HSP.

Días mes	Determinación horas de sol pico (HSP)											
	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Nº de día anual	15	43	74	104	135	165	196	227	257	288	318	349
Declinación solar (°)	-21,27	-14,27	-2,82	9,04	18,79	23,27	21,52	13,78	2,62	-9,60	-18,91	-23,34
Inclinación optima mensual (°)	62,75	55,75	44,30	32,44	22,69	18,22	19,97	27,70	38,86	51,08	60,39	64,82
Elevación solar (°)	27,25	34,25	45,70	57,56	67,31	71,78	70,03	62,30	51,14	38,92	29,61	25,18
Radiación con inclinación optima (kWh/m <sup>2</sup> )	4,03	5,51	6,15	6,60	7,44	7,92	8,00	7,44	6,35	5,34	4,04	3,41
Parte decimal respecto al consumo total	0,00	0,00	0,02	0,08	0,14	0,24	0,26	0,20	0,06	0,00	0,00	0,00
Inclinación comercial óptima por consumo	25,00											
Factor de corrección de radiación	0,829	0,887	0,955	0,993	0,999	0,994	0,997	0,999	0,977	0,918	0,850	0,810
HSP	3,34	4,89	5,87	6,55	7,44	7,88	7,97	7,43	6,20	4,90	3,43	2,76
Energía pico	3,01	4,40	5,29	5,90	6,69	7,09	7,18	6,69	5,58	4,41	3,09	2,48

La relación entre la demanda de agua y la radiación solar es directa, es decir los meses de mayor radiación, son los meses de mayor demanda de agua.



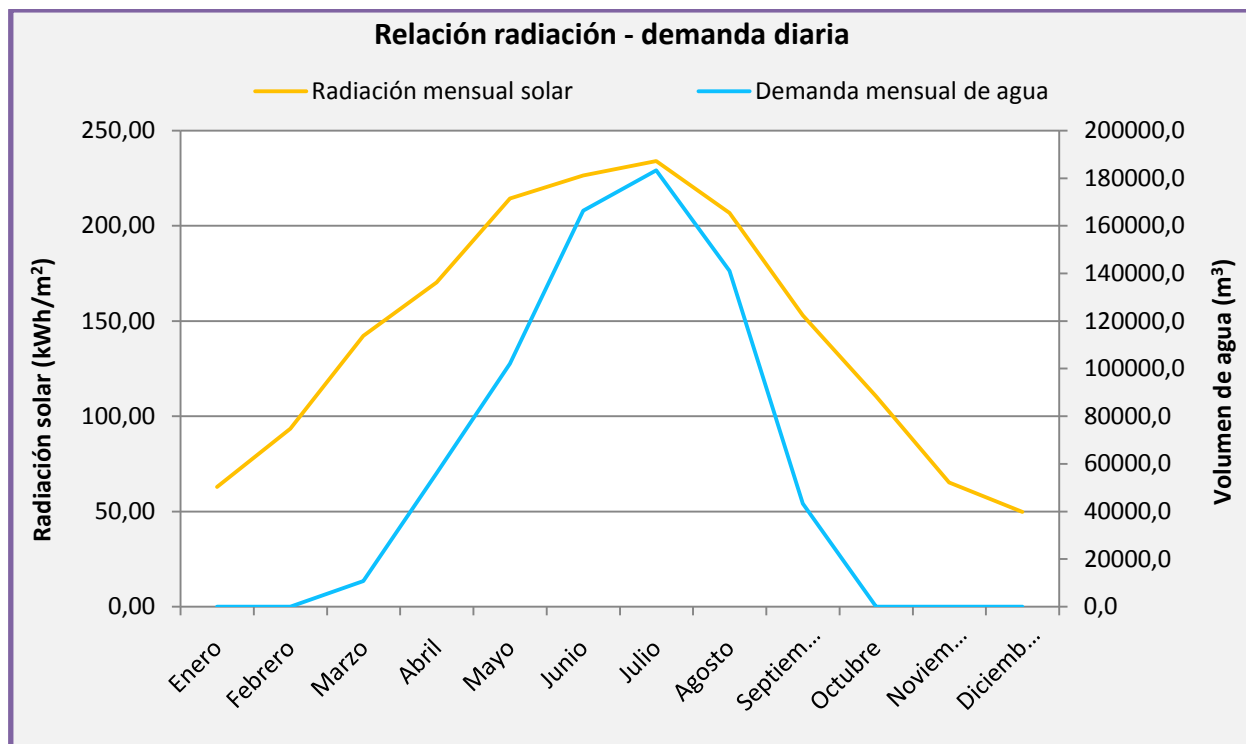


Figura 22.- Comparativa de la radiación recibida frente a la demanda de agua.

#### 5.1.5.-Diseño de instalación fotovoltaica

Partiendo de que necesitamos cubrir una potencia nominal de 250 kW durante 7,18 horas para garantizar la demanda de agua en el mes más desfavorable, el mes de Julio, donde se tiene un consumo de 1794,08 kWh/día, se decide realizar **3 subinstalaciones idénticas de 100 kW** cada una. (**Plano 11 y Plano 12**) El periodo de vida útil de la instalación con rendimientos capaces de cumplir con los servicios es de 25 años.

##### 5.1.5.1.- Inversor

El inversor escogido es un inversor con salida de onda sinusoidal, para autoconsumo directo o para conexión a red.

Tabla 17.- Parámetros característicos del inversor trifásico 100 kW INGECON Sun 3Play 100 TL.

Valores de entrada DC	
Rango de potencia campo Fotovoltaico (kWp)	101-145
Rango de tensiones MPP (V)	570-850
Tensión máxima admisible (V)	1100
Corriente máxima admisible (A)	185
Corriente de cortocircuito (A)	240
Valores de salida AC	
Potencia nominal (kW)	100
Tensión nominal (V)	400
Corriente máxima (A)	145
Rendimiento	
Eficiencia (%)	98,5

### 5.1.5.2.- Paneles

Respecto a las fuentes de corriente, los paneles fotovoltaicos, se han escogido módulos policristalinos de medias células debido a su buen comportamiento en la posibilidad de sombras y su comportamiento frente al calor. Las características del panel se expresan en la Tabla 14 y su comportamiento en situaciones extremas en la Tabla 15.

**Tabla 18.-** Parámetros característicos de la Placa Trina Solar 340 W 24 Tallmax TSM-PE15 H.

Peso panel (kg)	Largo (m)	Ancho (m)	Grosor (mm)
22,8	2,024	1,004	35
Datos característicos del panel			
Potencia pico (Wp)		Pmax	340
Voltaje a máxima potencia (V)		Vmpp	37,5
Intensidad a máxima potencia (A)		Impp	9,06
Voltaje en circuito abierto (V)		Voc	46,2
Intensidad en cortocircuito (A)		Isc	9,53
Datos en condiciones STC. Irradiación 1000 W/m <sup>2</sup> y temperatura de célula 25 °C			
Temperatura de célula TONC (°C)			41
Temperatura ambiente TONC (°C)			20
Coeficiente corrector (V/°C)			-0,14322
Coeficiente corrector (A/°C)			0,004765

**Tabla 19.-** Comportamiento del módulo fotovoltaico en situaciones extremas de invierno y verano.

Comportamiento paneles		
Radiación (W/m <sup>2</sup> )	200,00	1000,00
Temperatura ambiente (°C)	-5,00	45,00
Incremento temperatura de célula condiciones TONC (°C)	21,00	21,00
Incremento temperatura de célula a causa de la irradiación (°C)	5,25	26,25
Temperatura de célula a condiciones determinadas (°C)	0,25	71,25
Incremento de temperatura (°C)	-24,75	46,25
Voltaje a máxima potencia (V)	40,38	32,12
Intensidad a máxima potencia (A)	1,70	9,27
Voltaje en circuito abierto (V)	49,74	39,58
Intensidad en cortocircuito (A)	1,79	9,75
Potencia nominal (W)	68,64	297,77

A partir de los rangos de voltaje y corriente permitidos a la entrada del inversor se estructura la combinación de los módulos serie-paralelo con tal de trabajar en condiciones óptimas.

**Tabla 20.-** Combinación resultante de módulos en cada subinstalación.

Número máximo de paneles solares	427
Número mínimo de paneles	298
Número de paneles en serie mínimo	18
Número de paneles en serie máximo	22
Número final de paneles en serie	20
Número de paneles en paralelo	18

**Tabla 21.-** Parámetros de salida totales de cada subinstalación.

Número de paneles	360
V <sub>máx.</sub> (V)	994,89
V <sub>mín</sub> (V)	642,47
I <sub>máx</sub> (A)	175,51
I <sub>mín</sub> (A)	30,60
V <sub>mppmax</sub> (A)	807,54
V <sub>mppmin</sub> (A)	642,47

#### 5.1.5.3.- Separación paneles

Las filas de paneles se distanciaron **4 m** por criterio de diseño frente a los 3,66 m necesarios el 21 de Diciembre a las 12 horas. Debido a la disposición de los bloques obliga a alargar la separación que resulta positivo a nuestro favor dado que se evitarán sombras más tempranas.

**Tabla 22.-** Resultado del cálculo de separación entre filas de paneles.

Distancia de separación entre filas	
Latitud (°)	41
Azimut (°)	127
Altura Sol 21 Diciembre 12h (°)	20
Angulo inclinación paneles (°)	25
Longitud panel (m)	2,024
Longitud de la sombra (m)	4,248
Distancia mínima separación (m)	3,66
Distancia mínima elegida (m)	4

#### 5.1.5.4.- Cableado y protecciones

Cableado ha sido escogido en función de las condiciones de instalación eligiendo la mayor sección resultante entre sección por caída de tensión y sección por intensidad máxima admisible.

**Tabla 23.-** Determinación de la sección de los tramos del cableado.

Tramos	Panel-Panel	Paneles-Inversor	Inversor-Consumo
Voltaje mínimo (V)	642,5	642,5	400,0
Intensidad máxima (A)	9,8	175,5	145,0
Intensidad corregida (A)	12,2	219,4	181,3
Longitud (m)	50	110	370
Caída de tensión máxima admisible (%)	1,5	1,5	3,0
Sección por caída de tensión (mm <sup>2</sup> )	2,65	104,77	233,83
Sección por intensidad máxima admisible (mm <sup>2</sup> )	2,5	120	95
Tipo de cable	ZZ-F	DN-K	RVFV-K
Sección escogida finalmente (mm <sup>2</sup> )	4	120	240
Intensidad Fusibles (A)	15	200	160
Intensidad Magnetotérmico (A)	15	-	-

#### 5.1.5.5.- Estructura flotante

La estructura flotante es capaz de soportar el peso del equipamiento fotovoltaico y dar estabilidad y paso para el mantenimiento de los módulos fotovoltaicos.

**Tabla 24.-** Características estructura flotante.

Dimensiones	50 x 50 x 40	cm
Peso	6,5	kg
Flotabilidad	90	kg/pieza
Densidad	948	kg/m <sup>3</sup>
Número de cubos	7408	

## 5.2.- Elementos principales instalación

Los elementos principales de toda la instalación que definen su comportamiento y características son:

- 320 m Diámetro 500 mm Tubería de PE100 PN10
- 50 m Diámetro 355 mm Tubería de PE100 PN10
- 380 m Diámetro 450 mm Tubería de PE100 PN10
- Bomba sumergible IDEAL P0058786 ARS250-42 2U 1450 rpm. Diámetro de rodete 250 mm
- 2x Bomba horizontal IDEAL 6380B 150/200 GNI/RNI 150-40 1450 rpm. Diámetro de rodete 380 mm.
- Balsa de 12526 m<sup>3</sup> Impermeabilizada con lámina de PEAD 2 mm
- 1080x Placa Trina Solar 340 W 24 Tallmax TSM-PE15 H
- 3x Inversor Red 100 kW Trifásico INGECON Sun 3Play 100 TL
- 216x Estructura Suelo 5 Paneles FV915 25-30º
- 7408x Eco-System Cube (50x50x40 cm)

## 6.-Metodología de cálculo Caso 2: Riego por goteo con energía solar

### 6.1.-Diseño y estrategia seguida

La estrategia seguida para la resolución de esta nueva solución, es definir, calcular y dimensionar por un lado la instalación de riego solar directo y por otro la instalación solar autónoma.

**1-Análisis de las necesidades de riego cultivo.** El primer paso es a partir de las condiciones del terreno y del cultivo a trabajar, establecer las necesidades de riego diarias máximas.

**2- Diseño del riego.** Definidas las necesidades de riego, se busca el tipo de manguera a utilizar y se elabora la distribución de los ramales encargados de aportar el agua a las mangueras de goteo.

**3- Selección del cabezal de riego.** El cabezal de riego lo componen el equipo de filtrado y el equipo de bombeo. Éste último se selecciona a partir de las condiciones mínimas y máximas que debe aportar para aportar agua uniformemente a todos los puntos.

**4- Análisis solar.** Conocida la ubicación de la instalación solar se realiza el pertinente análisis solar para determinar las horas solares pico y la inclinación óptima por consumo.

**5-Diseño y dimensionado instalación solar fotovoltaica directa.** Conocida la potencia del equipo de bombeo y el tiempo de riego máximo, se dimensiona la instalación fotovoltaica para asegurar el funcionamiento en el periodo mínimo fijado.

**6-Selección de los componentes.** Dimensionada la instalación se buscan componentes y se ajustan de acuerdo a sus parámetros representativos para su correcto funcionamiento y se selecciona el cableado necesario.

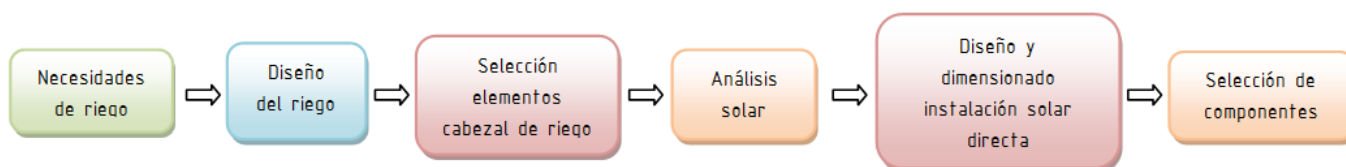


Figura 23.- Esquema estrategia seguida para la resolución del riego a goteo con solar directa.

Por parte de la otra instalación, la solar autónoma la estrategia seguida es la siguiente.

**1-Identificación de cargas y consumo.** El primer paso consiste en identificar las cargas que tendremos y su tiempo de uso en situación máxima. Después se establecen unos coeficientes de simultaneidad para identificar el mes de consumo más desfavorable.

**2- Análisis solar.** Conocida la ubicación de la instalación solar se realiza el pertinente análisis solar para determinar las horas solares pico y la inclinación óptima por consumo.

3- **Selección componentes.** A partir de las necesidades de consumo se buscan componentes aptos para la instalación que se pretende, definiendo la tensión del sistema y la combinación de conexionado de los elementos.

4- **Dimensionado instalación solar autónoma.** Con los componentes seleccionados se ajusta el conexionado con tal de trabajar dentro de los parámetros fijados por los fabricantes. También se procede al cálculo del cableado de los diferentes tramos.

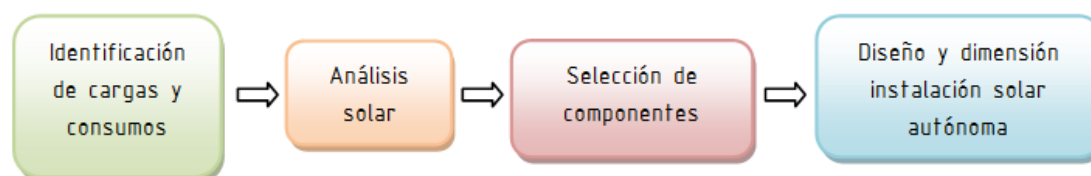


Figura 24.- Esquema estrategia seguida para la resolución de la instalación autónoma del almacén.

## 6.2.- Análisis de necesidades hídricas plantas

A diferencia del Caso 1, en el que se han obtenido las necesidades netas de bases de datos públicas, en este apartado se analizan con más detenimiento.

### 6.2.1.- Necesidades netas

Las necesidades netas serán menores en plantaciones jóvenes y para grandes marcos de plantación, por lo que para su determinación es necesario aplicar coeficientes correctores. La fórmula utilizada para el cálculo es la desarrollada por la FAO<sup>3</sup>.

$$(52) \quad N_n = E_{Tc} \cdot K_L \cdot K_r \cdot K_a$$

$N_n$  = Necesidades netas (mm/día)

$E_{Tc}$  = Evapotranspiración del cultivo (mm/día)

$K_L$  = Coeficiente corrector por localización

$K_r$  = Coeficiente corrector por variación climática

$K_a$  = Coeficiente corrector por advención, o tasa de energía que se transfiere horizontalmente

#### 6.2.1.1- Evapotranspiración del cultivo

La evapotranspiración del cultivo depende de la zona donde vaya a implantarse, debido a los factores de radiación y temperatura a los que estará expuesto el cultivo. Dicho valor lo obtendremos de la plataforma del SIAR, utilizada ya en el Caso 1.

<sup>3</sup> FAO. La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, ONUAA, o más conocida como FAO, es un organismo especializado de la ONU que dirige las actividades internacionales encaminadas a erradicar el hambre

### 6.2.1.2- Coeficiente corrector

Es la relación entre la fracción de la superficie sombreada por la planta respecto el marco de plantación utilizado. Este coeficiente se utiliza para minorar el efecto de evaporación producido sobre el área del suelo sombreada.

$$(53) \quad A = \frac{\text{Área sombreada}}{\text{Marco}} = \pi \cdot \frac{D^2}{4M}$$

A = Fracción de área sombreada

D = Diámetro medio de la copa del árbol (m)

M = Marco de plantación (m<sup>2</sup>)

Para determinar el valor de  $K_L$  en cultivos arbóreos se parte de cuatro fórmulas y se toma como valor de  $K_L$  la media de los valores intermedios resultantes, despreciando los extremos.

$$\text{Aljibur et al. } K_L = 1,34 \cdot A$$

$$\text{Decroix } K_L = 0,1 + A$$

$$(54) \quad \text{Hoare et al. } K_L = A + 0,5 \cdot (1 - A)$$

$$\text{Seller } K_L = A + 0,15 \cdot (1 - A)$$

### 6.2.1.3- Coeficiente corrector por advección

En campos en regadío, se considera que existe una influencia del microclima creado, dependiendo fundamentalmente de la extensión de la superficie regada así como del tipo de riego empleado en parcelas colindantes. Dado que es difícil de considerar, se suelen tomarse valores de **Ka= 0,95**, en parcelas a regar que se encuentran en campos de riego iguales o superiores a 50 hectáreas, **Ka=0,98**, en parcelas a regar que se encuentran en campos de riego inferiores a 50 hectáreas y mayores de 10, y por último en parcelas iguales o inferiores a 10 hectáreas se toma el valor de **Ka=1**.

### 6.2.1.4.- Coeficiente corrector por variación climática

Coeficiente incremental de las necesidad de agua en previsión de las demandas punta del cultivo.

$$\text{Si } ETo \leq 6,5 \text{ mm/día } Kr= 1,15.$$

$$\text{Si } ETo > 6,5 \text{ mm/día } Kr= 1,2.$$

### 6.2.2.- Necesidades totales de riego

Las necesidades totales de riego son mayores que las netas ya que es necesario aportar cantidades adicionales para compensar las pérdidas por infiltración profunda, salinidad y por la uniformidad del riego.

$$(55) \quad Nt = \frac{Nn}{[E_a \cdot (1 - NL) \cdot F_u]}$$

Nt = Necesidades totales de riego (mm/día)

$N_n$  = Necesidades netas (mm/día)

$E_a$  = Coeficiente de terreno predominante

$N_L$  = Necesidades de lavado

$F_u$  = Factor de uniformidad ( En instalaciones nuevas y con buen mantenimiento  $F_u = 0,95$ )

### 6.2.2.1.- Consideraciones a la eficiencia de aplicación

En riego localizado se presentan menores pérdidas, y la eficiencia se relaciona con la textura del terreno y la forma en que circula el agua en el interior del mismo.

**Tabla 25.-** Valores de eficiencia de aplicación ( $E_a$ ) para riego localizado según textura predominante del suelo.

Arena	0,85
Limo	0,9
Arcilla	0,95

### 6.2.2.2.- Consideraciones de lavado de sales

El lavado de sales consiste en diluir las sales mediante un aporte extra de agua, provocando su desplazamiento hacia las capas inferiores del terreno, con tal de alejarlas de la zona radicular de las plantas.

$$(56) \quad NL = \frac{CE_a}{2 \cdot CE_{ex\ max}}$$

$N_L$  = Necesidades de lavado (decimal)

$CE_a$  = Conductividad del agua de riego (dS/m)

$CE_{ex\ max}$  = Conductividad eléctrica del extracto de saturación del para un rendimiento del 100% en el cultivo (dS/m)

El cultivo que vamos a trabajar, es el olivo, un cultivo con una sensibilidad moderada a la salinidad, cuyo valor de  $CE_{ex\ max}$  igual a **5 dS/m**.

En cuanto a la conductividad del agua es posible extraer los datos desde el portal de la CHE<sup>4</sup> (<http://www.datosuperficiales.chebro.es:81/WCASE/?rvn=1>) para el canal de Aragón y Cataluña con nacimiento en el embalse de Barasona (Aragón). Un valor medio entre los diferentes valores que se muestran recogidos a lo largo del tiempo desde 2007 es de  $CE_a=300$  uS/cm equivalente a 0,3 dS/m, lo que califica al agua como ideal.

### 6.2.3.- Necesidades totales unitarias

La mayor masa vegetal y mayor extensión radicular de los cultivos leñosos, se ve reflejada en la distribución final de los goteros durante el diseño del riego. Es necesario determinar los volúmenes de agua para cada árbol.

<sup>4</sup> CHE: Confederación Hidrográfica del Ebro, es el organismo de gestión, regulador y mantenedor de las aguas y riegos de la cuenca hidrográfica del Ebro.



$$(57) \quad N_{tu} = N_t \cdot M \cdot C$$

$N_{tu}$  = Necesidades totales unitarias árbol  $\left(\frac{\text{litros}}{\text{árbol}} \cdot \text{día}\right)$

$N_t$  = Necesidades totales de riego  $\left(\frac{\text{litros}}{\text{m}^2} \cdot \text{día}\right)$

$M$  = Marco de plantación ( $\text{m}^2$ )

$C$  = Coeficiente de distanciamiento entre líneas. Para distancias mayores a 4 m,  $C = 0,8$  mientras que para distancias menores o iguales a 4 m,  $C = 0,9$

### 6.3.-Dimensionado riego goteo

#### 6.3.1.- Disposición de goteros

Existen diferentes formas de distribuir el agua, goteros en fila, doble fila o en anillo. En este caso se va a utilizar la más común de todas, una línea de goteros por cada hilera de plantas, ya que se prefiere un goteo más paulatino para evitar encharcamiento dado las condiciones del terreno.

#### 6.3.2.- Distancia entre goteros

La distancia entre goteros depende de la disposición elegida de los emisores sobre el terreno.

$$(58) \quad D_e = r \cdot \left(2 - \frac{S}{100}\right)$$

$D_e$  = Distancia entre emisores (m)

$S$  = Solape bulbo (%)

$r$  = Radio superficie mojada (m)

##### 6.3.2.1.- Superficie mojada por el emisor

La determinación de la superficie mojada por el emisor se determina mediante pruebas de campo o con las expresiones de la Tabla 24.

**Tabla 26.-** Diámetros mojados por el emisor clasificados según la textura del suelo para cultivos leñosos.

Arcillosa	$D=(1,2 + 0,1 \cdot q) \cdot 0,98$
Limosa	$D=(0,7 + 0,11 \cdot q) \cdot 0,96$
Arenosa	$D=(0,3 + 0,12 \cdot q) \cdot 0,93$
$D$ =Diámetro de la superficie mojada	$q$ = Caudal del emisor (l/h)

##### 6.3.2.2.- Solape de bulbos

Porcentaje de distancia cubierta por dos bulbos consecutivos con relación al radio del bulbo.

**Tabla 27.-** Valores del solape entre bulbos en cultivos leñosos (%) con goteros consecutivos con disposición de una línea de goteros por fila de plantas.

Arcilloso	15
Limosa	30
Arenosa	35

### 6.3.2.- Número de goteros

La superficie a humedecerse para regar el árbol de manera eficiente con la superficie que mojan los goteros a una profundidad determinada indicará el número mínimo de emisores destinado a cada árbol.

$$(59) \quad e_l = \frac{S_p}{D_c}$$

$e_l$  = Número mínimo de emisores por árbol

$S_p$  = Separación entre los arboles en una misma fila (m)

$D_c$  = Distancia entre emisores comercial (m)

### 6.3.3.- Duración del riego

Para cumplir la demanda de agua necesaria del cultivo se precisa un determinado tiempo de riego según la disposición, caudal, distancia de la manguera de goteo escogida.

$$(60) \quad t_r = \frac{Ntu \cdot l}{e_l \cdot q}$$

$t_r$  = Tiempo de riego (horas)

$Ntu$  = Necesidades totales unitarias ( $\frac{l}{\text{día}}$ )

$l$  = Intervalo entre riegos consecutivos (días)

$e_l$  = Número de emisores por árbol

$q$  = Caudal emitido por el emisor ( $\frac{l}{h}$ )

### 6.3.4.- Caudal total necesario

El caudal total que debe recibir la parcela en un periodo de riego diario.

$$(61) \quad Q_t = \frac{\left( \frac{S_u}{D_c \cdot D_l} \cdot q \right)}{3600}$$

$Q_t$  = Caudal total ( $\frac{l}{s}$ )

$S_u$  = Superficie de la parcela ( $m^2$ )

$D_c$  = Distancia comercial entre goteros (m)

$D_l$  = Distancia entre líneas del cultivo (m)

$q$  = Caudal del emisor ( $l/h$ )

### 6.3.5.- Número de sectores de riego

Dado que se dispone de una dotación diaria, el número de sectores en este caso se elige por cuestiones de diseño.

## 6.4.-Dimensionado ramales

Los ramales de PVC, encargados de repartir el agua a las acometidas, donde se conecta la manguera de goteo, se diseñan y dimensionan con tal de cubrir todas las líneas de goteo.

A partir de la cantidad de agua de salida por los emisores y los metros de manguera, se determina el caudal a circular por los ramales y directamente se establece el diámetro de la tubería del ramal, donde se trabaja con velocidades inferiores a 1,5 m/s y superiores a 0,5 m/s.

### 6.4.1.- Diámetro tubería

El diámetro de la tubería viene marcado por una variación de la expresión 10, mencionada anteriormente, siendo el caudal, el acumulado a lo largo de su distribución.

$$(10) \quad D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot v}}$$

$v$  = Velocidad del fluido (m/s)  
 $Q$  = Caudal ( $m^3/s$ )  
 $S$  = Superficie ( $m^2$ )  
 $D$  = Diámetro interior (m)

### 6.4.2.- Pérdidas de carga

Las pérdidas de carga continuas en los ramales siguen la misma metodología que se ha tratado en el punto **4.5.1.1.-Pérdidas de carga**, mientras que las pérdidas de carga singulares se suponen como un 20% respecto las totales continuas en el ramal.

A diferencia del **Caso 1**, donde el caudal era una variable, en riego a goteo con manguera de emisores autocompensantes el caudal es fijo cuando se trabaja a unos determinados rangos de presión establecidos por el fabricante.

## 6.5.- Dimensionado cabezal de riego

### 6.5.1.- Equipo de filtrado

Para evitar el taponamiento de los emisores de la manguera de goteo con posibles piedras o partículas que puedan obstruir la salida del agua se utilizan equipos de filtrado. La capacidad del equipo de filtrado queda establecida por el caudal a circular, generando pérdidas singulares definidas en tablas por el fabricante.

### 6.5.2.- Equipo de bombeo

El equipo de bombeo debe aportar con la presión suficiente el caudal total definido para que la instalación trabaje conforme a su uso. En riegos con goteo autocompensantes se trabaja normalmente en rangos de 1,5 a 4 bar en punta de emisor, para que su caudal de entrega sea uniforme en cualquier punto.

$$\mathbf{Hb_{mín} (m) = Presión mín trabajo goteo + Presión equipo de filtrado + Presión punto más desfavorable (\Delta z_i, \Delta h_i)}$$

$$(62) \quad \mathbf{Hb_{máx} (m) = Presión máx trabajo goteo + Presión equipo de filtrado + Presión punto más favorable (\Delta z_i, \Delta h_i)}$$

$Hb_{mín}$  = Presión mínima que debe entregar el equipo de bombeo (m)

$Hb_{máx}$  = Presión máxima que debe entregar el equipo de bombeo (m)

$\Delta z$  = Diferencia de cota entre el equipo de bombeo y el punto seleccionado (m)

$\Delta h$  = Pérdidas de carga hasta el punto seleccionado (m)

A partir de la presión mínima y máxima, se selecciona una bomba que garantice el caudal necesario a una presión de trabajo situada en ambos rangos. Dicha selección se realiza directamente en la información aportada por fabricantes.

## 6.6.-Análisis de necesidades solares

La metodología seguida es análoga a la del Caso 1, descrita en el punto **4.3.- Análisis solar**.

## 6.7.-Dimensionado de la instalación solar

### 6.7.1.- Solar directa para riego a goteo

Este apartado sigue la misma metodología utilizada en el Caso 1, expuesta en el apartado **4.6.- Dimensionado instalación solar**, con la diferencia de que se utiliza un variador- inversor directo.

### 6.7.2.- Instalación solar autónoma

El punto de partida será el consumo diario estimado y los datos de radiación solar para el mes más desfavorable, entendiendo como tal aquel en que el cociente entre la energía solar incidente (sobre horizontal, en un principio) y la energía consumida alcance el valor más bajo. Hay que decir que existen otros procedimientos con diferentes criterios de base para el dimensionado de una instalación fotovoltaica autónoma con acumulación, con la misma validez del que se expone a continuación.

### 6.7.2.1.- Tabla de consumos

El primer paso es identificar las cargas y determinar los consumos propios de un día tipo en cada mes. Se debe identificar las tensiones del sistema en el que se va a trabajar, especialmente si hay elementos de corriente continua.

### 6.7.2.2.- Rendimiento global y energía requerida

En una instalación autónoma con acumulación, existen factores que provocan pérdidas sobre el rendimiento global de la instalación, lo que se traduce en mayor energía a la entrada de los bornes de la batería, respecto a la energía consumida. Las pérdidas son fruto de una serie de condicionantes a la hora de escoger los elementos de diseño.

**K<sub>b</sub>**, es el coeficiente de pérdidas por rendimiento de las baterías, es decir indica el coeficiente de energía que la batería no devuelve con respecto a la absorbida por los paneles.

- K<sub>b</sub> = 0,05 si no se generan descargas intensas.

- K<sub>b</sub> = 0,1 si se sufren descargas intensas.

**K<sub>a</sub>**, coeficiente de pérdidas por autodescarga diaria de las baterías.

- K<sub>a</sub> = 0,02 para baterías de Niquel-Cadmio

- K<sub>a</sub> = 0,005 para baterías de Plomo-Acido

- K<sub>a</sub> = 0,012 para baterías de alta descarga como son las de los automóviles

**K<sub>c</sub>**, coeficiente de pérdidas por rendimiento del inversor.

- K<sub>c</sub> = 0,05 en inversores de onda senoidal pura

- K<sub>c</sub> = 0,1 en inversores de onda senoidal

- K<sub>c</sub> = 0,4 en inversores de onda cuadrada

**K<sub>v</sub>**, coeficiente de pérdidas varias, haciendo referencia a las pérdidas globales por efecto Joule con un valor medio de K<sub>v</sub> = 0,1.

**P<sub>d</sub>**, profundidad de descarga de la batería, considerando valores entre el 50 % en baterías de vasos y de 80 % en el resto de baterías.

$$(63) \quad E_T = \text{Consumos CC} + \frac{\text{Consumos CA}}{1 - K_c}$$

E<sub>T</sub> = Energía total diaria (Wh)

$$(64) \quad R = (1 - K_b - K_c - K_v) \cdot \left(1 - K_a \cdot \frac{N}{P_d}\right)$$

R = Rendimiento (decimal)

N = Número de días de autonomía

#### 6.7.2.3.- Subsistema de generación

Debe estar capacitado para aportar la energía demandada por la instalación teniendo en cuenta las posibles pérdidas por rendimiento.

$$(65) \quad E_r = \frac{E_T}{R}$$

$E_r$  = Energía requerida (Wh)

A la energía a generar debe tenerse en cuenta las pérdidas ocasionadas en el regulador que se estiman en un 10 %.

$$(66) \quad E_g = \frac{R_r}{0,9}$$

$E_g$  = Energía generada (Wh)

A partir de las HSP obtenidas en el apartado de análisis solar, se procede a determinar la potencia pico del subsistema generador.

#### 6.7.2.4.- Determinación de la potencia pico del subsistema generador

La potencia pico se entiende como la energía equivalente capaz de generar durante una hora sometida a una irradiación constante de 1000 W/m<sup>2</sup>.

$$(67) \quad E_p = 0,9 \cdot HSP$$

$E_p$  = Energía pico (Wh)

HSP = Horas Solares Pico

La potencia pico será la fracción de la energía que debe generar el campo fotovoltaico y la energía que genera cada vatio pico instalado.

$$(68) \quad P_p = \frac{E_g}{E_p}$$

$P_p$  = Potencia pico (Wp)

$E_g$  = Energía generada (Wh)

$E_p$  = Energía pico (Wh)

#### 6.7.2.5.- Número de paneles y diseño del conexionado

El número de paneles a conectar en serie queda definido por la tensión nominal del sistema y la tensión del módulo elegido.

$$(69) \quad NP_S = \frac{V_{ns}}{V_{np}}$$

$NP_S$  = Número de paneles en serie

$V_{ns}$  = Tensión nominal del sistema (V)

$V_{np}$  = Tensión nominal módulo (V)

$$(70) \quad NP_P = \frac{P_P}{NP_S \cdot P_M}$$

$NP_P$  = Número de paneles en paralelo

$P_P$  = Potencia pico (Wp)

$P_M$  = Potencia pico del módulo (Wp)

#### 6.7.2.6.- Subsistema acumulación

El dimensionado del subsistema acumulador estará en función de la energía necesaria que debe recibir el grupo de baterías,  $E_r$ , y el número de días de autonomía sin radiación solar que se desea asumir.

$$(71) \quad C_u = E_r \cdot N$$

$C_u$  = Capacidad útil (Wh)

$E_r$  = Energía requerida (Wh)

$N$  = Número de días de autonomía

$$(72) \quad C_N = \frac{C_u}{P_d}$$

$C_N$  = Capacidad sistema baterías (Wh)

$P_d$  = Profundidad de descarga

$$(73) \quad C_{N \text{ Ah}} = \frac{C_N}{V_{NS}}$$

$C_{N \text{ Ah}}$  = Capacidad nominal baterías (Ah)

$V_{NS}$  = Voltaje del sistema (V)

#### 6.7.2.7.- Cálculo del número de baterías y diseño del conexionado

El número de baterías a instalar viene determinado por el número de acumuladores en serie requeridos

$$(74) \quad NB_S = \frac{V_{NS}}{V_{Nb}}$$

$NB_S$  = Número de baterías en serie

$V_{Nb}$  = Tensión de la batería seleccionada (V)  
para trabajar en la tensión nominal del sistema.

$$(75) \quad NB_P = \frac{C_{N Ah}}{C_b}$$

$NB_P$  = Número de baterías en paralelo

$C_b$  = Capacidad nominal comercial batería (Ah)

#### 6.7.2.8.- Subsistema regulación

El dimensionado del regulador viene marcado por la intensidad pico generada por el campo fotovoltaico, siendo dicha intensidad la considerada como intensidad de cortocircuito del panel, aumentada un 25 %.

$$(76) \quad I_g = 1,25 \cdot NP_p \cdot I_p$$

$I_g$  = Intensidad corregida (A)

$NP_p$  = Número de paneles en paralelo

$I_p$  = Intensidad de cortocircuito del panel (A)

#### 6.7.2.9.- Inversor

Para determinar la potencia de entrada del inversor, basta con conocer la potencia máxima de éste y su eficiencia de uso.

$$(76) \quad P_{in} = \frac{P_{CA}}{\mu}$$

$P_{in}$  = Potencia de entrada al inversor (W)

$P_{CA}$  = Potencia corriente alterna (W)

$\mu$  = Rendimiento inversor



#### **6.7.2.10.- Conductores y protecciones**

El procedimiento seguido es el mismo que se aplica en el apartado **4.6.3.- Conductores y protecciones**, a excepción de que en caso de una instalación autónoma, se disponen de nuevos tramos con su respectiva caída de tensión máxima.

- De panel a regulador se permite una caída de tensión del 1,5 %
- De regulador a baterías se permite una caída del 0,5 %
- De baterías al inversor la caída permitida es del 1%

## 7.-Resultados Caso 2: Riego por goteo con energía solar

En primer lugar se describe el proceso resultante para el riego por goteo con solar directa, para posteriormente acabar describiendo la solar autónoma que da servicio al almacén.

### 7.1.- Resultados obtenidos

#### 7.1.1.- Riego a goteo con solar directa

##### 7.1.1.1.- Necesidades hídricas

Se ha trabajado con los datos extraídos del SIAR, promedios entre 2015 y 2019, para un olivo en la comarca del Bajo Cinca.

Tabla 28.- Valores medios de evapotranspiración del olivo entre 2015 y 2019.

Fecha	Kc	Eto (mm)	Etc (mm)	Días	Eto (mm/día)	Etc (mm/día)
Enero	0,0	23,8	0,0	31,0	0,8	0,0
Febrero	0,0	38,5	0,0	28,0	1,4	0,0
Marzo	0,3	76,4	19,1	31,0	2,5	0,6
Abril	0,3	98,4	29,5	30,0	3,3	1,0
Mayo	0,3	148,2	44,4	31,0	4,8	1,4
Junio	0,4	166,9	66,8	30,0	5,6	2,2
Julio	0,4	181,1	72,4	31,0	5,8	2,3
Agosto	0,4	154,5	61,8	31,0	5,0	2,0
Septiembre	0,3	101,0	30,3	30,0	3,4	1,0
Octubre	0,2	56,9	11,4	31,0	1,8	0,4
Noviembre	0,0	28,3	0,0	30,0	0,9	0,0
Diciembre	0,0	13,0	0,0	31,0	0,4	0,0

Se puede observar que la **evapotranspiración media máxima** es de **2,3 mm/día**, producida en el mes de Julio.

Determinado el ETC máximo se ha analizado el comportamiento del cultivo en el entorno en el cual se va a situar. Dicha información junto con el marco de plantación a seguir y el terreno predominante, nos marcan unas necesidades netas de **3,7 mm/día**, traducido a unas necesidades totales de riego de **4,3 mm/día**, siendo la dosis por árbol de **123,3 litros/día** para un total de **2000 árboles**.

**Tabla 29.-** Resultados de los cálculos de las necesidades hídricas del olivo en el campo estudiado, en situación de máxima demanda.

Evapotranspiración del cultivo máxima diaria	Etc	2,3	mm
Diámetro medio copa del árbol	D	4,0	m
Marco de plantación	M	6	m
Coeficiente corrector	A	1,4	
Coeficiente de Aljbur et al	KL	2,7	
Coeficiente de Decroix	KL	1,5	
Coeficiente de Hoare et al	KL	1,2	
Coeficiente de Seller	KL	1,3	
Coeficiente corrector por localización resultante	KL	1,4	
Coeficiente corrector por variación climática	KR	1,15	
Coeficiente corrector por advención	Ka	1	
Necesidades netas	Nn	3,7	mm/día
Tipo de terreno		Arcilloso	
Eficiencia de aplicación	Ea	0,95	
Factor de uniformidad	Fu	0,95	
Conductividad agua de riego	Cea	0,3	dS/m
Conductividad máxima del suelo para un rendimiento 100%	CE ex máx	5,0	dS/m
Necesidades de lavado	NL	0,03	
Necesidades totales de riego	Nt	4,3	mm/día
Coeficiente de distanciamiento entre líneas	C	0,8	
Necesidades totales unitarias	Ntu	123,3	litros/árbol·día

#### 7.1.1.2.- Dimensionado del riego

El riego por el que se opta es el de manguera de goteo con **emisores autocompensantes de 4 l/h** a distancia comercial equidistante de **1,25 m AZUD PC SYSTEM de 20 mm**, distribuidas en líneas a lo largo de los árboles.

**Tabla 30.-** Resultados del dimensionado riego.

Caudal aportado por la manguera de goteo	q	4,0	l/h
Diámetro de la superficie mojada	D	1,6	m
Radio de la superficie mojada	r	0,8	m
Porcentaje de solape de bulbos	S	15,0	%
Distancia entre emisores	De	1,45	m
Distancia entre emisores comercial	Dc	1,25	m
Número de goteros por árbol	el	4,8	
Intervalo entre riegos consecutivos	I	1	día
Duración del riego	tr	6,4	horas
Superficie neta parcela destinada a cultivo	Su	7,2	ha
Caudal total estimado	Qt	10,67	l/s
Superficie bruta parcela	Sub	8,5	ha
Dotación de agua	H	438,0	m <sup>3</sup> /día
Caudal total estimado	Qt	38,40	m <sup>3</sup> /h

El riego necesario que deberá llevarse a cabo a lo largo del año, queda definido en la Tabla 31.

**Tabla 31.-** Distribución del riego a lo largo de los meses.

Meses	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Días	31,0	28,0	31,0	30,0	31,0	30,0
Tiempo de riego medio diario (h)	0,0	0,0	1,7	2,8	3,9	6,1
Caudal (m <sup>3</sup> /h)	0,0	0,0	38,4	38,4	38,4	38,4
Caudal total (m <sup>3</sup> /día)	0,0	0,0	65,3	107,5	149,8	234,2

Meses	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Días	31,0	31,0	30,0	31,0	30,0	31,0
Tiempo de riego medio diario (h)	6,4	5,6	2,8	1,1	0,0	0,0
Caudal (m <sup>3</sup> /h)	38,4	38,4	38,4	38,4	0,0	0,0
Caudal total (m <sup>3</sup> /día)	245,8	215,0	107,5	42,2	0,0	0,0

#### 7.1.1.3.- Ramales de PVC

El riego se ejercerá en un único turno, distribuyendo los **38,4 m<sup>3</sup>/h** a través de los diferentes ramales de PVC que quedan definidos con el fin de repartir el agua hacia todos los puntos, siendo los puntos críticos, los que definen los rangos de presión de trabajo del equipo de bombeo, para mantenerse entre 1,5 bar y 4 bar en el emisor de la manguera, para garantizar el caudal constante de 4 l/h. La distribución queda reflejada en el **Plano 13**.

#### 7.1.1.4.- Equipo de filtrado

El equipo de filtrado seleccionado es el filtro automático **AZUD Helix AUTOMATIC Serie 200** con cartuchos de 203 micras, para evitar posibles obstrucciones en los emisores. Las pérdidas generadas son de **0,17 bar a 38,4 m<sup>3</sup>/h**.

#### 7.1.1.5.- Equipo de bombeo

Conocido el caudal necesario, y analizados los puntos críticos, la presión que debe aportar el equipo de bombeo queda definida por la máxima H<sub>bmín</sub> y la mínima H<sub>b máx</sub>.

**Tabla 32.-** Análisis de presión necesaria del equipo de bombeo para satisfacer correctamente los puntos críticos de cada ramal.

Ramal 1						
Cota bomba (m)	Cota punto (m)	Pérdidas de carga (m)	Pérdidas de carga filtro (m)	Presión goteo (m)	Hb críticas (m)	
247,90	242,03	8,86	1,74	15,30	20,03	Hb mín
247,90	243,46	2,76	1,74	40,80	40,86	Hb máx

Ramal 2						
Cota bomba (m)	Cota punto (m)	Pérdidas de carga (m)	Pérdidas de carga filtro (m)	Presión goteo (m)	Hb críticas (m)	
247,90	247,19	4,08	1,74	15,30	20,41	Hb mín
247,90	246,90	2,37	1,74	40,80	43,91	Hb máx

Ramal 3						
Cota bomba (m)	Cota punto (m)	Pérdidas de carga (m)	Pérdidas de carga filtro (m)	Presión goteo (m)	Hb críticas (m)	
247,90	247,62	7,26	1,74	15,30	24,02	Hb mín
247,90	248,50	1,79	1,74	40,80	44,93	Hb máx

Las presiones limitantes son **Hb mín 24,02 m** y **Hb máx 40,86 m**. Dado que se trata de un bombeo solar directo, se ha optado por seleccionar una bomba de curva característica casi recta, debido a su comportamiento constante a revoluciones por debajo de las nominales, de forma que se eviten picos o caídas en el caudal y la presión principalmente. Por ello la bomba seleccionada es una bomba monobloc **RFI-50-16/7,5 del distribuidor IDEAL** de 5,5 kW de potencia nominal. Se establece el punto de funcionamiento en **38,4 m<sup>3</sup>/h** a **28,8 m**.

**Tabla 33.-** Puntos que definen la curva característica de la bomba monobloc RFI-50-16/7,5.

Bomba monobloc RFI -50-16/7,5				CV	7,5	kW	5,5
Q (m <sup>3</sup> /h)	24	27	30	36	42	48	54
Hb (m)	29,8	29,7	29,6	29	28,5	27,5	26,5

#### 7.1.1.6.- Instalación fotovoltaica

Después de realizar el análisis solar correspondiente se opta por una **inclinación de paneles de 30°** con unas HSP en el mes de mayor demanda de **7,14 Wh**. A partir de estos datos se decide buscar un inversor-variador especial para bombeo solar directo, siendo el elegido, **Bombeo solar ESP-5.5kW-400-IP54-F50** de **ATERSA group**.

**Tabla 34.-** Ficha técnica del variador de bombeo solar ESP-5,5kW-400-IP54\_F50.

Valores de entrada DC			
Tensión de entrada máxima DC, Voc	740	800	Vdc
Tensión de trabajo recomendada, Vmpp	550	620	Vdc
Tensión de entrada mínima Dc		400	Vdc
Corriente máxima nominal de entrada por serie (hasta 3 series)		10	A
Valores de salida AC			
Potencia nominal máxima		5,5	kW
Tensión nominal		400	Vac
Rendimiento			
Eficiencia		97	%

El panel escogido es el **Módulo solar fotovoltaico (72 células 6") A-335P GS** de **ATERSA group**. La configuración resultante de adaptar el módulo escogido al inversor, juntamente con la potencia pico mínima es de 2 ramas en paralelo de 14 módulos en serie. (**Plano 14**)

**Tabla 35.-** Ficha técnica del módulo fotovoltaico (72 células 6") A-335P GS.

Dimensiones	Largo	1,956	m	Ancho	0,992	m
Peso panel		kg	21,5	Grosor	40	mm
Datos característicos del panel						
Potencia pico				Pmax	335	Wp
Voltaje a máxima potencia				Vmpp	37,7	V
Intensidad a máxima potencia				Impp	8,89	A
Voltaje en circuito abierto				Voc	46,5	V
Intensidad en cortocircuito				Isc	9,51	A
Datos producidos a condiciones STC. Irradiación 1000 W/m <sup>2</sup> y temperatura de célula 25 °C						
Temperatura de célula TONC (±3°C)					45	°C
Temperatura ambiente TONC					20	°C
Coeficiente corrector Voc					-0,1525	V/°C
Coeficiente corrector Isc					0,006285	A/°C

**Tabla 36.-** Comportamiento del módulo fotovoltaico A-335P GS frente a las condiciones desfavorables.

Radiación (W/m <sup>2</sup> )	200	1000
Temperatura ambiente (°C)	-5	45
Incremento temperatura de célula condiciones TONC (°C)	25	25
Incremento temperatura de célula a causa de la irradiación (°C)	6,25	31,25
Temperatura de célula a condiciones determinadas (°C)	1,25	76,25
Incremento de temperatura (°C)	-23,75	51,25
Voltaje a máxima potencia (V)	40,64	31,36
Intensidad a máxima potencia (A)	1,64	9,19
Voltaje en circuito abierto (V)	50,12	38,68
Intensidad en cortocircuito (A)	1,75	9,83
Potencia nominal (W)	66,58	288,26

**Tabla 37.-** Resultado de valores limitantes de salida de la instalación fotovoltaica.

Número de paneles	28
V <sub>máx.</sub> (V)	701,71
V <sub>mín</sub> (V)	439,09
I <sub>máx</sub> (A)	19,66
I <sub>mín</sub> (A)	3,28
V <sub>mpp</sub> máx (A)	568,91
V <sub>mpp</sub> min (A)	439,09
Potencia pico (Wp)	9380

Los paneles se colocarán a los pies de la montaña con una **Estructura inclinada 30 ° 7 Paneles 72C CVE**.

Respecto al cableado y las protecciones, se ha escogido un modelo de variador que ya viene con el armario del automatismo completo, IP54, con protecciones para distancia de cableado entre los paneles y el variador de un máximo 50 m. A consecuencia de ello únicamente es necesario seleccionar el tipo de cableado que será el **ZZ-F de 2,5 mm<sup>2</sup>** para el tramo de paneles al variador, y cable **RVFV-K de 1,5 mm<sup>2</sup>** para el conexionado al motor.

### 7.1.2.- Solar autónoma almacén

#### 7.1.2.1.- Identificación de cargas

El primer paso realizado ha sido elaborar una tabla de las presuntas cargas para obtener su consumo, para posteriormente dimensionar la instalación autónoma. Se han tenido en cuenta la bomba de abonado, los fluorescentes que iluminan el almacén, el programador de riego, posibles herramientas de trabajo, y otros elementos de baja potencia que se escapan del análisis inicial, obteniendo una potencia total de **3062,5 W**.

**Tabla 38.-** Cargas y consumos previstos máximos, para la instalación autónoma del almacén.

Uds.	Carga Elemento	Tensión (V)	Potencia (W)	Tiempo (h/día)	CC/CA	Consumo (Wh)
1	Bomba abonado	230	190	2	CA	380
8	Fluorescentes	230	20	2	CA	320
1	Programador de riego	230	12,5	7	CC	87,5
2	Herramientas de trabajo	230	1200	1,5	CC	3600
1	Otros	230	300	1,5	CA	450
			3062,5			
						4837,5

Se han establecido una serie de coeficientes de simultaneidad para poder determinar el mes más desfavorable atendiendo al uso que se da en cada mes, siendo el mes de Agosto el más desfavorable.

**Tabla 39.-** Aplicación de los coeficientes de simultaneidad y relación entre energía entrante/consumida.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Coefficiente de uso	0,2	0,2	0,4	0,55	0,67	0,85	0,85	0,85	0,6	0,35	0,2	0,15
Consumos (Wh)	967,50	967,50	1935,00	2660,63	3241,13	4111,88	4111,88	4111,88	2902,50	1693,13	967,50	725,63
Relación Consumo/Energía pico	0,31	0,21	0,37	0,43	0,48	0,58	0,58	0,61	0,51	0,39	0,32	0,30

#### 7.1.2.2.- Análisis solar

La energía pico determina los Wh por cada Wp instalado, y además nos permite establecer la relación entre la demanda y la entrada de energía para determinar el mes más desfavorable. El punto de análisis tiene unas coordenadas de **41,485° de latitud** y **0,371° de longitud** a una elevación de 246 msnm.

**Tabla 40.-** Datos de radiación global horizontal en los años 2015 y 2016 en la ubicación de los paneles.

Año/meses	Radiación solar global horizontal mensual desde 2015-2016 (kWh/m <sup>2</sup> )											
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2015	62,22	95,13	136,51	184,37	223,5	227,11	230,5	203,18	146,89	107,25	57,96	41,65
2016	60,19	89,42	141,64	170,39	207,4	232,74	239,28	216,19	160,92	101,05	66,34	49,25

Meses	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Radiación media anual	61,20	92,23	139,05	177,24	215,30	229,91	234,85	209,58	153,75	104,10	62,01	45,29
Radiación horizontal media diaria	1,97	3,29	4,49	5,91	6,95	7,66	7,58	6,76	5,12	3,36	2,07	1,46

**Tabla 41.-** Resultados del análisis solar para la ubicación de los paneles, tanto de la instalación de riego solar directa como para la instalación solar autónoma.

Días mes	Determinación horas de sol pico (HSP)											
	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Nº de día anual	15	43	74	104	135	165	196	227	257	288	318	349
Declinación solar (°)	-21,27	-14,27	-2,82	9,04	18,79	23,27	21,52	13,78	2,62	-9,60	-18,91	-23,34
Inclinación optima mensual (°)	62,75	55,75	44,30	32,44	22,69	18,22	19,97	27,70	38,87	51,08	60,40	64,82
Elevación solar (°)	27,25	34,25	45,70	57,56	67,31	71,78	70,03	62,30	51,13	38,92	29,60	25,18
Radiación con inclinación optima (kWh/m <sup>2</sup> )	3,92	5,44	6,01	6,87	7,48	8,05	8,03	7,54	6,38	5,04	3,83	3,10
Porcentaje de consumo mensual	0,034	0,034	0,068	0,093	0,113	0,144	0,144	0,144	0,101	0,059	0,034	0,034
Inclinación comercial óptima por consumo	30,00											
Factor de corrección de radiación	0,871	0,920	0,975	0,999	0,994	0,983	0,988	0,999	0,991	0,947	0,889	0,855
HSP	3,42	5,01	5,86	6,86	7,43	7,91	7,93	7,54	6,32	4,77	3,41	2,65
Energía pico (Wh)	3,08	4,51	5,27	6,18	6,69	7,12	7,14	6,78	5,69	4,29	3,07	2,39

### 7.1.2.3.- Dimensionado instalación

La instalación estará formada por **3 paneles solares de 400 W PERC Monocristalino ERA** en estructura suelo **3 paneles FV915 25-30 °** para una inclinación a 30°conectados en paralelo, un inversor con función de regulador de carga solar MPPT y cargador de baterías, **PV18-3024 VMPK**, y **2 baterías Formula Star 260Ah 12V FS260 Solar** en serie. En total la instalación soporta 1 día de autonomía a un consumo de 6084,9 Wh/día y se alimenta de 1200 Wp.



**Tabla 42.-** Parámetros de diseño y parámetros de los componentes seleccionados de la instalación solar autónoma.

Coeficiente de pérdidas por rendimiento de baterías	kb	0,05	
Coeficiente de pérdidas por autodescarga diaria de las baterías	ka	0,01	
Coeficiente pérdidas inversor	kc	0,05	
Coeficiente de pérdidas varias efecto Joule	kv	0,10	
Número de días de autonomía	N	1	
Profundidad de descarga baterías	Pd	80,00	%
Rendimiento instalación	R	0,80	
Energía máxima consumida	ET	4838	Wh
Energía requerida	ET	6084,9	Wh/día
Energía pico mes desfavorable por cada Wp	Ep	6,78	Wh
Energía generada	Eg	6761,01	Wh
Potencia pico	Pp	996,6	Wp
Tensión del sistema DC	Vns	24	Vdc
Tensión del los paneles seleccionados	Vnp	24	Vdc
Número de paneles en serie	NPs	1	
Potencia pico panel	PM	400	Wp
Número de paneles en paralelo	NPp	3	
Capacidad útil baterías	Cu	4838	Wh
Capacidad sistema de baterías	CN	6047	Wh
Capacidad nominal de baterías	CN Ah	252	Ah
Voltaje baterías seleccionadas	VNb	12	Vdc
Número de baterías en serie	NBs	2	
Capacidad de la batería seleccionada	Cb	260	Ah
Número de ramas de baterías en paralelo	NBp	1	

#### 7.1.2.4.- Secciones cableado

Definidos los elementos, la intensidad máxima entre paneles, inversor y baterías, define la sección necesaria a partir de la sección máxima admisible y la caída de tensión.

**Tabla 43.-** Resultados del cálculo de cableados en los diferentes tramos.

Intensidad máxima paneles	I máx	10,36	A
Intensidad máxima que llega al inversor-regular-cargador	Ip	31,08	A
Intensidad corregida	Ig	38,85	A
Voltaje de entrada sistema	Vn	24,00	Vdc
Caída de tensión permitida de paneles al inversor-cargador		2,0	%
Longitud de cableado tramo paneles al inversor-cargador	L	12	m
Sección cableado por caída de tensión	S	40,64	mm <sup>2</sup>
Sección cableado por intensidad máxima admisible	S	6	mm <sup>2</sup>
Sección escogida cable H07RN-F	S	50,0	mm <sup>2</sup>
Caída de tensión permitida de inversor-cargador a las baterías		1	%
Corriente de carga máxima	Imáx	80	A
Longitud de cableado de inversor-cargador a las baterías	L	3	m
Sección cableado por caída de tensión	S	43,58	mm <sup>2</sup>
Sección cableado por intensidad máxima admisible	S	25	mm <sup>2</sup>

Sección escogida cable RV-K	S	50,0	mm <sup>2</sup>
Caída de tensión permitida de inverso al consumo		2	%
Potencia máxima inversor	P <sub>máx</sub>	3000	W
Longitud de cableado de inversor-cargador a consumo máx.	L	5	m
Sección cableado por caída de tensión	S	1,48	mm <sup>2</sup>
Sección por intensidad máxima admisible	S	1,5	mm <sup>2</sup>
Sección escogida cable RV-K	S	1,5	mm <sup>2</sup>

## 7.2.- Elementos principales instalación

Son los elementos que marcan el diseño de la instalación, con el fin de obtener el resultado deseado.

### 7.2.1.- Riego por goteo con solar directa

- 12000 m de manguera de goteo autocompensante AZUD PC SYSTEM de 20 mm de caudal 4 l/h y distancia entre emisores de 1,25 m.
- Equipo de filtrado AZUD Helix AUTOMATIC Serie 200 con cartuchos de 203 micras
- 546 m de  $\phi 50$ , 624 m de  $\phi 63$ , 138 m de  $\phi 75$  de Tubería de PVC Adequa
- Bomba monobloc IDEAL RFI-50-16/7,5 de 5,5 kW
- Variador de frecuencia Bombeo solar ESP-5.5kW-400-IP54-F50 de Atersa group
- 28 Módulos solares fotovoltaicos (72 células 6") A-335P GS de ATERSA group
- 4 Estructuras inclinadas 30 ° 7 Paneles 72C CVE

### 7.2.2.- Instalación solar autónoma

- 3 Módulos solares de 400 W PERC Monocristalino ERA
- Un inversor cargador 3000W 24 V MPPT 50A Must
- 2 Baterías Formula Star 260Ah 12V FS260 Solar
- Una estructura suelo 3 paneles FV915 25-30°

## 8.-Presupuesto

En este apartado se presenta un presupuesto referente a los elementos que afectan directamente a la temática principal, inmersa en los casos de estudiados anteriormente, es decir la parte que se refiere a la instalación solar fotovoltaica pudiendo hacer hincapié en otros elementos o precios si fuese necesario para reforzar el diseño elegido.

### 8.1.- Caso 1: Bombeo Solar

El siguiente presupuesto comprende:

Cantidad	Unidades	Concepto	Total
1080,0	Uds.	Suministro y montaje de Placa Trina Solar 340 W 24 V Tallmax TSM-PE15H, con parte proporcional de accesorios complementarios al montaje, cableado ZZ-F de 4 mm <sup>2</sup> , protecciones adecuadas y mano de obra de montaje.	153.250,38 €
216,0	Uds.	Suministro y montaje de Estructura 5 Paneles FV915 25-30° sobre base flotante, con parte proporcional de accesorios complementarios al montaje y mano de obra de montaje.	73.563,66 €
3,0	Uds.	Suministro y montaje de Inversor Red 100 kW INGECON Sun 3PLAY 100 TL con parte proporcional de accesorios complementarios al montaje incluyendo cajas de conexiones, cableado DN-K 120mm <sup>2</sup> , protecciones y mano de obra de montaje.	26.074,55 €
1852,0	m <sup>2</sup>	Suministro y montaje de base flotante Eco-System Cube modular Marine-floor, con parte proporcional de accesorios complementarios al montaje y mano de obra de montaje.	45.513,83 €
			298.402,41 €

\*Dicho presupuesto se verá incrementado con el correspondiente porcentaje de I.V.A.

### 8.2.-Caso 2: Riego por goteo con energía solar

#### 8.2.1.- Riego por goteo con solar directa

Cantidad	Unidades	Concepto	Total
28	Uds.	Suministro y montaje de (72 células 6") A-335P GS de ATERSA group, con parte proporcional de accesorios complementarios al montaje, cableado ZZ-F de 2,5 mm <sup>2</sup> , protecciones adecuadas y mano de obra de montaje.	3.672,41 €
4	Uds.	Suministro y montaje de Estructuras inclinadas 30 ° 7 Paneles 72C CVE, con parte proporcional de accesorios complementarios al montaje y mano de obra de montaje.	1.784,78 €
1	Uds.	Suministro y montaje del Variador de frecuencia Bombeo solar ESP-5.5kW-400-IP54-F50 de Atersa group con parte proporcional de accesorios complementarios al montaje incluyendo cajas de conexiones, cableado RVFV-K 1,5mm <sup>2</sup> , protecciones y mano de obra de montaje.	1.463,32 €
			6.920,51 €

\*Dicho presupuesto se verá incrementado con el correspondiente porcentaje de I.V.A.

### 8.2.2.- Instalación solar autónoma

Cantidad	Unidades	Concepto	Total
3	Uds.	Suministro y montaje de Módulos solares de 400 W PERC Monocristalino ERA, con parte proporcional de accesorios complementarios al montaje, cableado H07RN-F de 50 mm <sup>2</sup> , protecciones adecuadas y mano de obra de montaje.	524,33 €
1	Uds.	Suministro y montaje de una estructura suelo 3 paneles FV915 25-30°, con parte proporcional de accesorios complementarios al montaje y mano de obra de montaje.	219,42 €
1	Uds.	Suministro y montaje inversor cargador 3000W 24 V MPPT 50A Must con parte proporcional de accesorios complementarios al montaje incluyendo cajas de conexiones, cableado RV-K unipolar 50 mm <sup>2</sup> hasta baterías.	456,54 €
2	Uds.	Suministro y montaje de baterías Formula Star 260Ah 12V FS260 Solar en serie con parte proporcional de accesorios complementarios al montaje.	627,85 €
			1.828,14 €

\*Dicho presupuesto se verá incrementado con el correspondiente porcentaje de I.V.A.

## 9.-Resumen final de resultados

En dicho apartado se exponen de forma resumida aquellos datos más relevantes descritos en los apartados 5 y 7 respectivamente para posteriormente realizar una valoración energética/económica.

### 9.1.- Caso 1: Bombeo Solar

**Tabla 44.-** Resultados análisis demanda de agua y HSP.

Fecha	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Días	31,0	28,0	31,0	30,0	31,0	30,0
Demanda diaria (mm)	0,0	0,0	0,3	1,6	2,9	4,8
Demanda diaria (m <sup>3</sup> )	0,0	0,0	348,5	1870,3	3294,5	5544,7
Demanda mensual (m <sup>3</sup> )	0,0	0,0	10802,3	56107,9	102128,9	166340,7
Energía pico (Wh)	3,01	4,40	5,29	5,90	6,69	7,09

Fecha	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Días	31,0	31,0	30,0	31,0	30,0	31,0
Demanda diaria (mm)	5,1	3,9	1,3	0,0	0,0	0,0
Demanda diaria (m <sup>3</sup> )	5914,7	4553,0	1445,7	0,0	0,0	0,0
Demanda mensual (m <sup>3</sup> )	183354,5	141141,9	43371,5	0,0	0,0	0,0
Energía pico (Wh)	7,18	6,69	5,58	4,41	3,09	2,48

**Tabla 45.-** Parámetros de trabajo de la instalación en el punto de funcionamiento más desfavorable.

Altura energética entregada por el equipo de bombeo en estas condiciones	79,96	m
Caudal máximo entregado por el equipo de bombeo en estas condiciones	804,00	m <sup>3</sup> /h
Horas de entrega HSP mes de mayor demanda	7,18	HSP
Potencia nominal equipo de bombeo	250,00	kW
Potencia necesaria en el punto de funcionamiento	214,19	kW
Volumen de almacenamiento de agua asegurado	10902	m <sup>3</sup>
Altura energética entregada bombas horizontales	46,39	m
Altura energética entregada por bomba sumergible	33,57	m

**Tabla 46.-** Características del entorno.

Cota nivel del agua aspiración	180,0	m
Diferencia de cota entre lamina de agua Balsa 1 y caseta de Bombeo	29,00	m
Diferencia de cota entre lamina de agua Balsa 2 y caseta de Bombeo	40,50	m
Cota nivel del agua impulsión	249,5	m

**Tabla 47.-** Situación frente a la cavitación.

Presión a la entrada de la bomba	10,99	m
NPSH disponible	10,75	m
NPSH requerido	3,41	m
Nivel de seguridad frente a cavitación	7,34	m

**Tabla 48.-** Características subinstalación fotovoltaica.

Número final de paneles en serie	20
Número de paneles en paralelo	18
Número de paneles	360
Potencia obtenida en condiciones desfavorables invierno (kW)	24,71
Potencia obtenida en condiciones desfavorables verano (kW)	107,20

**Tabla 49.-** Resumen instalación solar flotante.

Número de paneles	1080
Potencia mínima obtenida en condiciones desfavorables invierno (kW)	74,13
Potencia máxima obtenida en condiciones desfavorables verano (kW)	321,59
Potencia pico instalación (kWp)	367,20
Número de cubos estructura flotante	7408

## 9.2.- Caso 2: Riego por goteo con energía solar

### 9.2.1.- Riego solar directo

La instalación para hacer funcionar el riego de **olivos de 7,2 hectáreas netas** consta de **9380 Wp**, con un punto de funcionamiento de la bomba de **38,4 m<sup>3</sup>/h** a **28,8 m** en situación de potencia de entrada a la bomba de **5,5 kW**, siendo capaz de satisfacer la demanda más desfavorable producida en el mes de Julio. La bomba debe trabajar en situaciones de **Hb mín. 24,02 m** y **Hb máx. 40,86 m**, que se controla con un presostato conectado directamente al programador de riego, asegurando que se trabaje en los rangos de presión necesarios para un riego uniforme enviando señal al variador.

**Tabla 50.-** Comportamiento de la instalación de riego a goteo solar directa.

Fecha	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Días	31,0	28,0	31,0	30,0	31,0	30,0
Tiempo de riego	0,0	0,0	1,7	2,8	3,9	6,1
Caudal (m <sup>3</sup> /h)	0,0	0,0	38,4	38,4	38,4	38,4
Caudal total (m <sup>3</sup> /día)	0,0	0,0	65,3	107,5	149,8	234,2
Energía pico (Wh)	3,08	4,51	5,27	6,18	6,69	7,12

Fecha	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Días	31,0	31,0	30,0	31,0	30,0	31,0
Tiempo de riego	6,4	5,6	2,8	1,1	0,0	0,0
Caudal (m <sup>3</sup> /h)	38,4	38,4	38,4	38,4	0,0	0,0
Caudal total (m <sup>3</sup> /día)	245,8	215,0	107,5	42,2	0,0	0,0
Energía pico (Wh)	7,14	6,78	5,69	4,29	3,07	2,39

### 9.2.2.- Instalación autoconsumo solar almacén

Para dotar de electricidad al almacén y así dar servicio a los aparatos eléctricos y electrónicos es necesaria una potencia de **1200 Wp** y un sistema de acumulación de **260 Ah**, asegurando una **demanda máxima diaria de 6000 Wh/día**.

## 10.-Interpretación de resultados

### 10.1.- Valoración Caso 1: Bombeo solar

La instalación hidráulica necesita para cumplir con la demanda prevista **218671,54 kWh** anuales mientras que la instalación fotovoltaica es capaz de ofrecer **564339,51 kWh** anuales, más del doble, por lo que una opción que permitiría amortizar la instalación, es vender la energía sobrante a la red con el fin de reducir el coste global de la instalación.

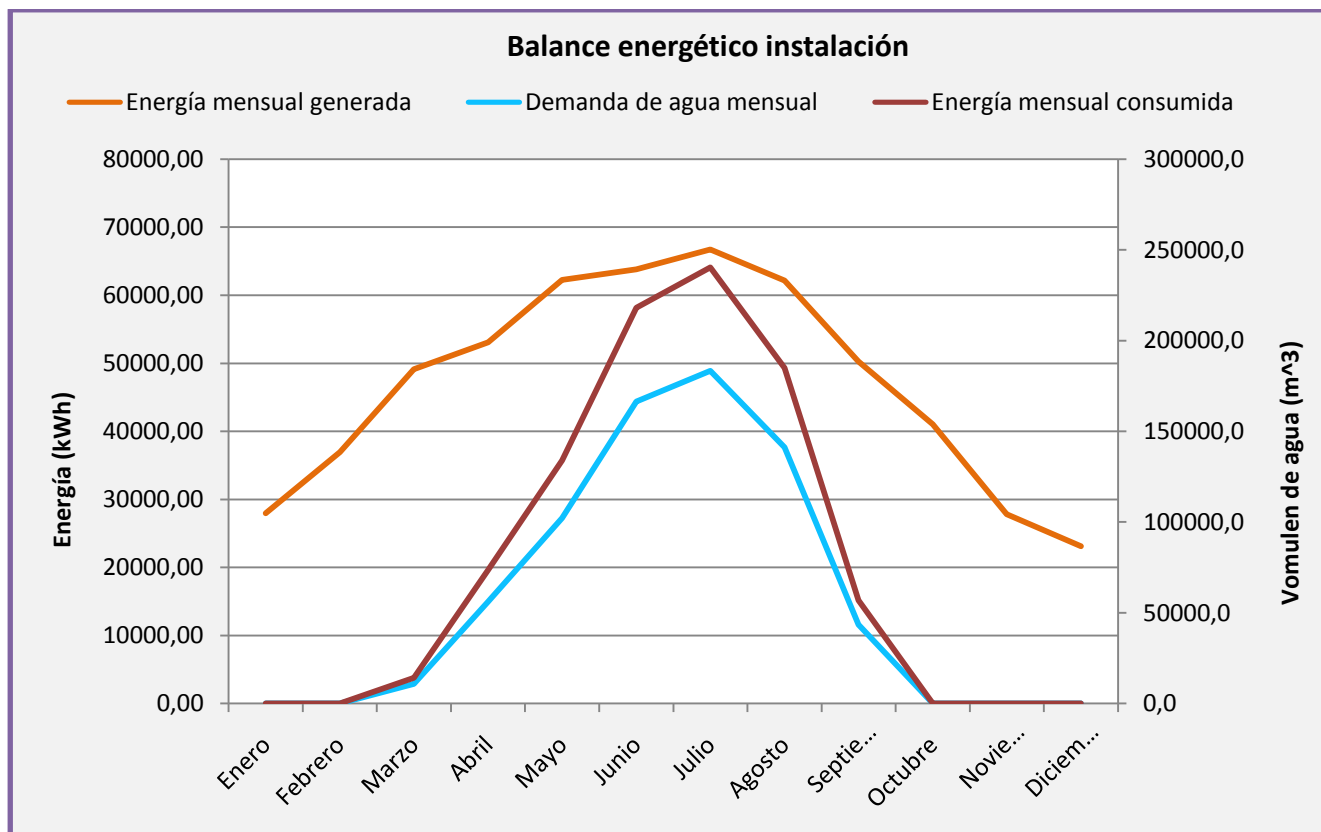


Figura 25.- Balance energético instalación fotovoltaica.

Por otro lado la instalación no precisa de ningún grupo electrógeno adicional, es 100 % autosuficiente, gracias al equilibrio entre la Balsa de almacenamiento–Equipo de Bombeo-Instalación fotovoltaica.

El equivalente en litros de Gasoil (combustible común en grupos electrógenos de gran potencia) es de 19951,783 L de Gasoil (10,96 kWh/L), lo que se traduce en un coste anual directo solo de combustible de aproximadamente 20.000 € al año y evitando 53626,20 kg de CO<sub>2</sub>e. Solo con el dinero ahorrado en combustible la instalación solar fotovoltaica se amortizaría en 17,13 años, a lo que si se añade el capital generado por la venta de electricidad excedente, su amortización sería menor.

### 10.1.- Valoración Caso 2: Riego por goteo con energía solar

Las instalaciones llevadas a cabo para dotar de riego a 7,2 hectáreas netas y de electricidad para poder regar y gestionar los riegos cumplen los requisitos establecidos inicialmente.



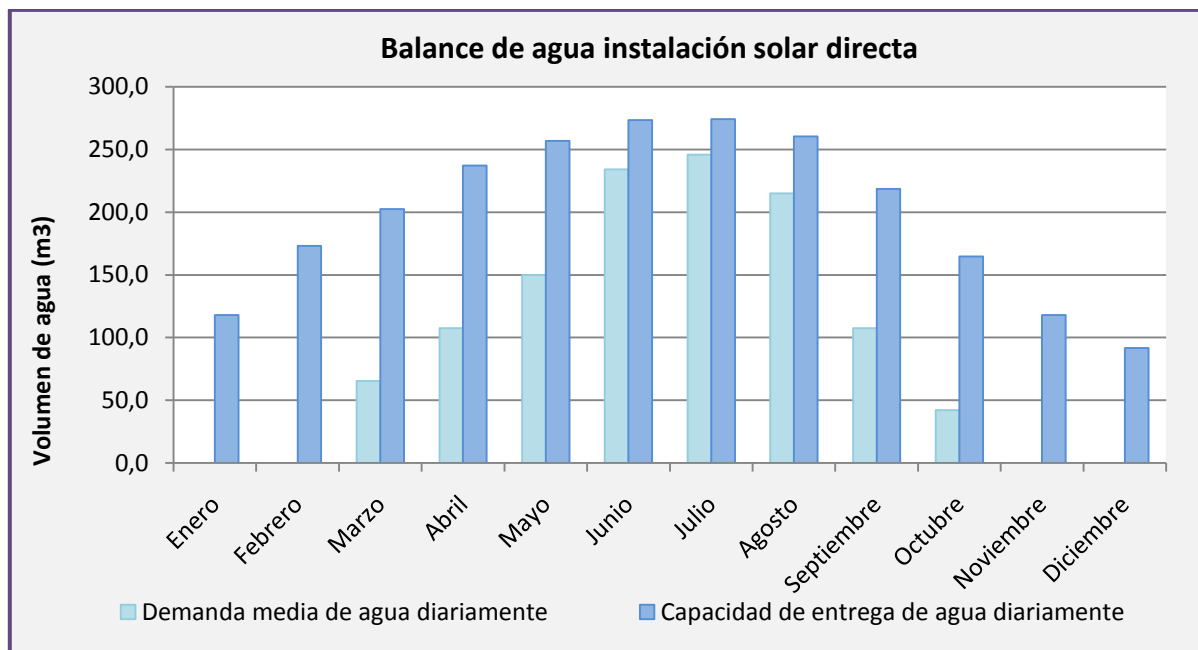
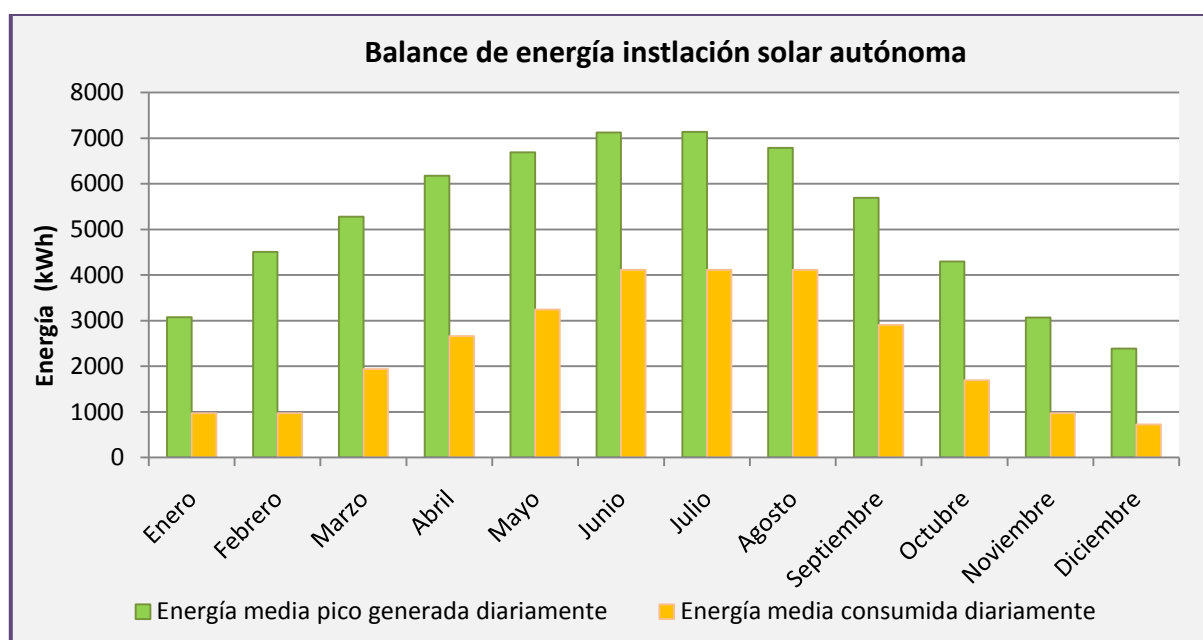


Figura 26.- Balance de agua instalación de riego solar directa.

Si analizamos la comparativa con un grupo electrógeno diesel, el coste se sitúa en aproximadamente 2500 €, frente a los 8373,82 € del bombeo solar directo, IVA incluido. A priori el hecho de realizar una gran inversión inicial no agrada a nadie, por ello es necesario acompañar la oferta solar del correspondiente periodo de amortización de la instalación. Se estima un consumo anual de 5118,85 kWh/año equivalente a 468 L de Gasoil por año. A un coste medio de 1,1 €/L de Gasoil, el periodo de amortización de la opción solar es de 11,85 años, menos de la mitad de la vida útil de la instalación que se sitúa en torno a 25 años, ahorrando año tras año 1904,33 Kg de CO<sub>2</sub>.



Por otro lado la instalación solar autónoma cumple con creces el objetivo para el cual había sido diseñada, dotar de electricidad a un almacén al cual no llega el tendido eléctrico.

## 11.-Conclusiones

---

### 11.1.- Caso 1: Bombeo Solar

Desde un punto crítico hay que decir que la solución escogida es la más económica dentro del modelo de diseño que se ha decidido adoptar, pero el modelo de diseño adoptado no es el más económico. Una solución económicamente “más barata” hubiese podido ser la de diseñar la instalación sin Balsa de almacenaje, ahorrando su coste, generado menor demanda de energía y su consecuente gasto, es decir bombeo solar directo, como consecuencia, el riego se limita a periodos intensivos dentro de las HSP para mantener unas condiciones constantes de caudal y presión.

La solución analizada y presentada en este estudio anteriormente tiene un costo global alto como desventaja principal, causado por la elevada altura piezométrica.

Por otro lado la instalación es capaz de ofrecer:

- Versatilidad, seguridad y futuro, generando ahorro a largo plazo
- Dotación de agua a 47,46 nuevas hectáreas.
- La dotación mínima en el mes de mayor demanda, asegurando agua a presión y caudal constantes a 106,91 hectáreas las 24 horas del día, es de 0,6 L/s·ha, pudiéndose incrementar a raíz de diversos factores, como pueden ser el horario de consumo del agua, las necesidades reales de los diferentes cultivos (no todos los agricultores entregan la misma cantidad de agua a la misma variedad), clima, etc.....
- En caso de riego mayoritariamente en periodo diurno la instalación puede ofrecer dotación de agua a presión a razón de 1100 m<sup>3</sup>/h en sus HSP llegando a tener capacidad para abastecer 160 ha a razón de 0,6 L/s·ha o las 115,36 ha a una dotación de consumo de agua de 1,4 L/s ha.
- Posibilidad de vender excedentes de electricidad generada.
- Posibilidad de aumentar el parque fotovoltaico hasta cubrir la Balsa 1.
- Beneficiarse de subvenciones por el uso de energía renovable.

Como toda inversión, son los que “pagan”, los que deciden si económicamente es viable valorando otras opciones, desde mi punto de vista he querido aportar mi experiencia y conocimientos a la solución de un problema valorando una opción de futuro como es la utilización de plantas fotovoltaicas en balsas o zonas inertes de producción hortofrutícola.

### 11.2.- Caso 2: Riego por goteo con energía solar

Como se ha comprobado con anterioridad las soluciones adoptadas en el Caso 2 cumplen con las expectativas, no obstante sí que es cierto que el coste es elevado para una inversión inicial, pero destacar que en el coste se incluye la mano de obra de montaje, aunque en mi opinión cualquier persona un poco “manitas” y con conocimientos básicos de electricidad podría llevar a cabo por sí misma el montaje de los componentes, dado que estos ofrecen manuales de instalación que lo facilitan. Este hecho reduciría considerablemente el coste presentado en los presupuestos expuestos en el apartado **8.2.- Caso 2: Riego con energía solar**.

Otra solución al Caso 2, que hubiera sido interesante analizar, es aprovechar la electricidad generada en la planta solar flotante del Caso 1, para satisfacer la demanda en el Caso 2, por acumulación de los excedentes, únicamente con un inversor-cargador y un banco de baterías daría por satisfecha la demanda de la bomba de riego y los aparatos eléctricos y electrónicos del almacén, evitando así los paneles solares y utilizando la planta solar flotante como generador externo.

## **13.-Anexos**

---

### **13.1.- Anexo 1: Planos**

### **13.2.- Anexo 2: Fichas técnicas**

## 12.-Referencias

---

### 12.1.- Referencias bibliográficas

Monge redondo, Miguel Angel, (2018), DISEÑO AGRONÓMICO E HIDRÁULICO DE RIEGOS AGRICOLAS A PRESIÓN, Editorial Agrícola y Gobierno de España.

Gobierno de España, (2010), MANUAL PARA EL DISEÑO, CONSTRUCCION, EXPLOTACION Y MANTENIMIENTO DE BALSAS, Cedex, y Gobierno de España.

Gobierno de Aragón, Apuntes módulo de INSTALACIONES SOLARES FOTOVOLTAICAS.

Salvador Escoda S.A. (2018), LIBRO BLANCO DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES

### 12.2.- Referencias electrónicas

Conchi Lafraya, La energía renovable supone ya casi la mitad de la generación en España, LA VANGUARDIA, (23/12/2019). (<https://www.lavanguardia.com/economia/20191223/472415675609/energia-espana-consumo-eolica-solar-verde.html>)

Mark Z. Jacobson, 100% Clean and Renewable Wind, Water, and Sunlight All-Sector Energy Roadmaps for 139 Countries of the World, Universidad de Stanford. (06/09/2017) (<http://web.stanford.edu/group/efmh/jacobson/Articles/I/CountriesWWS.pdf>)

Antonio Barrero F., La Transición Ecológica que propone el Gobierno pasa por conectar 100 megavatios de potencia renovable cada semana durante los próximos 30 meses, El Periódico de las energías limpias. (26/06/2020) (<https://www.energias-renovables.com/panorama/la-transicion-ecologica-que-propone-el-gobierno-20200625#:~:text=Espa%C3%B1a%20debe%20instalar%20100%20MW,el%20Gobierno%20en%20el%20BOE.>)

IDEA, El Gobierno elimina el impuesto del Sol. (05/10/2018) (<https://www.idae.es/noticias/el-gobierno-elimina-el-impuesto-al-sol>)

Autosolar, Agrofotovoltaica: combinando fotosíntesis y fotovoltaica. (17/04/2019) (<https://autosolar.es/blog/energia-solar-fotovoltaica/agrofotovoltaica-combinando-fotosintesis-y-fotovoltaica>)

Elena Alonso, Agrivoltaica: ¿son compatibles la fotovoltaica y el desarrollo agrícola?. El Ágora diario (08/10/2019) (<https://www.elagoradiario.com/a-fondo/agrivoltaica-fotovoltaica-desarrollo-agricola/>)

Ramón Roca, ACS conecta el mayor complejo fotovoltaico de Europa en Aragón de unos 800 MW, El Periódico de la energía. (27/01/2020) (<https://elperiodicodelaenergia.com/acs-conecta-el-mayor-complejo-fotovoltaico-de-europa-en-aragon-de-unos-800-mw/>)

David Page, La primera planta solar flotante que enchufa España no está en el mar, está en Extremadura, El independiente. (03/03/2020) (<https://www.elindependiente.com/economia/2020/03/03/la-primera-planta-solar-flotante-que-enchufa-espana-no-esta-en-el-mar-esta-en-extremadura/>)

### 12.3.- Plataformas electrónicas

Información sobre cultivos, SIAR: <http://eportal.mapa.gob.es/webciar/Inicio.aspx>

Datos de calidad de Aguas Superficiales, CHE: <http://www.datossuperficiales.chebro.es:81/WCASF/?rvn=1>

Sistema de información geográfica fotovoltaica, PVGIS: <https://ec.europa.eu/jrc/en/pvgis>

Posición solar, SunEarthTools: [https://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos\\_sun.php?lang=es](https://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos_sun.php?lang=es)

Consulta de precios, Generador de Precios, España Cype Ingenieros S.A.:

<http://www.generadordeprecios.info/#gsc.tab=0>

Reglamento Técnico de Baja Tensión, ITC-BT-19: [http://www.f2i2.net/documentos/lsi/rbt/ITC\\_BT\\_19.pdf](http://www.f2i2.net/documentos/lsi/rbt/ITC_BT_19.pdf)

Estructuras flotantes, Bet Solar: <https://betsolar.es/>

Material para instalaciones fotovoltaicas, Auto Solar: <https://autosolar.es/>

Material para instalaciones fotovoltaicas, Atersa Shop: <https://atersa.shop/>

Plataformas flotantes, Plataformas flotantes: <https://plataformasflotantes.com/>

### 12.3.- Referencias figuras

(Fuente [1]): <https://www.madridsubterra.es/podria-espana-funcionar-solo-con-energias-renovables-en-2050/>

(Fuente [2]): <https://elperiodicodelaenergia.com/acs-conecta-el-mayor-complejo-fotovoltaico-de-europa-en-aragon-de-unos-800-mw/>

(Fuente [3]): <https://www.portalfruticola.com/noticias/2019/04/23/produccion-agricola-bajo-estructuras-fotovoltaicas-energia-solar/agrowal-agrovoltica/>

(Fuente [4]): <https://autosolar.es/blog/energia-solar-fotovoltaica/agrofotovoltaica-combinando-fotosintesis-y-fotovoltaica>

(Fuente [5]): <https://www.elindependiente.com/economia/2020/03/03/la-primera-planta-solar-flotante-que-enchufa-espana-no-esta-en-el-mar-esta-en-extremadura/>

(Fuente [6]): <https://www.opengy.com/caso-tipo-bombeo-solar/>

(Fuente [7]): <http://almazcara.forestry.es/2018/12/espana-en-mapas.html>

(Fuente [8]): [https://www.mitma.gob.es/recursos\\_mfom/0820200.pdf](https://www.mitma.gob.es/recursos_mfom/0820200.pdf)

(Fuente [9]): [https://www.spancold.org/wp-content/uploads/2017/08/VIIIJEP\\_031.pdf](https://www.spancold.org/wp-content/uploads/2017/08/VIIIJEP_031.pdf)

(Fuente [10]): [https://www.spancold.org/wp-content/uploads/2017/08/VIIIJEP\\_031.pdf](https://www.spancold.org/wp-content/uploads/2017/08/VIIIJEP_031.pdf)

(Fuente [11]): [https://www.spancold.org/wp-content/uploads/2017/08/VIIIJEP\\_031.pdf](https://www.spancold.org/wp-content/uploads/2017/08/VIIIJEP_031.pdf)